BIOS 1

Eliömaailma

Päivi Happonen
Mervi Holopainen
Panu Sotkas
Antero Tenhunen
Marja Tihtarinen-Ulmanen
Juha Venäläinen

Sanoma Pro Oy
Helsinki

Tiedustelut

Sanoma Pro Oy, Helsinki
puh. 020 391 000
sähköposti: asiakaspalvelu@sanomapro.fi

www.sanomapro.fi

Kustantaja: Sanoma Pro Oy
5.–12. painos, 2014

Tämä aineisto on digitaalinen
rinnakkaisversio tuotteesta
ISBN 978-952-63-1349-8
BIOS 1. Eliömaailma.

6 kk lisenssi
ISBN 978-952-63-3003-7

48 kk lisenssi
ISBN 978-952-63-3004-4

Toimitus: Johanna Kainu
Ulkoasu ja kansi: Liisa Holm
Taitto: Timo Lagerkrans
Kuvatoimitus: Anita Kokkila
Kuvitus: Maija Raitanen,
Pekka Könönen / Picman Oy,
Kauko Kyöstiö / Spatio Oy

Kuva- ja piirrosoikeudet kirjan lopussa.

© Päivi Happonen, Mervi Holopainen,
Antero Tenhunen, Panu Sotkas,
Marja Tihtarinen-Ulmanen,
Juha Venäläinen ja Sanoma Pro Oy

Kopiointiehdot

Tämä teos on oppikirja, joka on suojattu tekijänoikeuslailla (404/61).

Tämän teoksen tai sen osan valokopiointi, skannaaminen tai muu digitaalinen kopiointi tai käyttö edellyttää oikeudenomistajan luvan.

Kopiosto ry myöntää teosten osittaiseen kopiointiin lupia. Tarkistakaa, mitkä valokopiointi- ja digiluvat ovat kohdallanne voimassa. Lisätietoja luvista www.kopiosto.fi

Teoksen tai sen osan muuntelu on kielletty.

Näin käytät tätä kirjaa

BIOS 1. **Eliömaailma** on opetussuunnitelman perusteiden mukainen oppikirja lukion ensimmäiselle biologian kurssille.

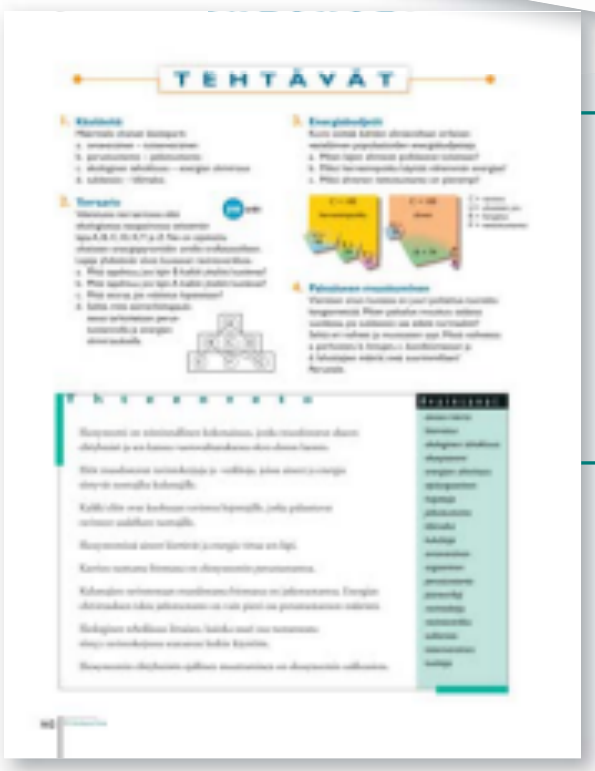
I. Kirjassa on kolme jaksoa:

I Monimuotoinen eliömaailma
II Evoluutio saa aikaan monimuotoisuutta
III Miten luonto toimii?

Jaksojen **aloitusaukeamilla** kerrataan jo aikaisemmin biologian opinnoissa tuttuja käsitteitä ja aihepiirejä. Lukuotsikoiden avulla pystyt hahmottamaan jakson punaisen langan. Aloitusaukeaman kysymykset johdattavat sinut uusiin asioihin.

3. Kiinnostavaa lisätietoa löydät vihreäpohjaisista **taustatietolaatikoista** ja ruskeapohjaisista **historiakatselmuksista**.

2. **Opiskeltava asia** etenee johdonmukaisesti otsikoissa, teksteissä, tehtävissä ja kuvissa.



4. Kirjan **tehtävien** avulla voit ymmärtää, soveltaa ja kerrata käsiteltyjä asioita. Lisäksi kirjassa on kokeelliseen tutkimukseen liittyviä tehtäviä, aineistotehtäviä sekä ylioppilastutkintotehtäviä.

5. **Avainsanat** esittelevät kunkin luvun kannalta keskeiset käsitteet, joiden avulla voit testata, oletko ymmärtänyt luvun asiasisällön. Yhteenveto on tiivistelmä luvun tärkeimmistä asioista.

6. Kirjan lopusta löydät luvuissa esiintyvät **käsitteet** selityksineen ja niiden englanninkieliset vastineet. Käsiteluettelo toimii myös kirjan hakemistona.

Sisällys

I Monimuotoinen eliömaailma

1 Mitä elämä on? 8

Tähtiä silmissäsi – eli mistä eliöiden sisältämät alkuaineet ovat peräisin 8
Mistä elämän tunnistaa? 10
Mitä tarvitaan, jotta elämää voi olla olemassa? 12

2 2000-luku – biologian aikakausi 17

Miten biologinen tietämys on kehittynyt? 17
Elämää tutkitaan monista eri näkökulmista 18
Tieteellisessä tutkimuksessa tarvitaan luovuutta ja uutteruutta 23
Mihin biologiaa tarvitaan? 28

3 Eliömaailman luokittelu jäsentää elämän monimuotoisuutta 31

Eliömaailman luokittelujärjestelmässä on monta eri tasoa 31
Eliömaailma voidaan jakaa kuuteen kuntaan 33
Eliöiden luokittelussa käytetään apuna useita eri keinoja 40

4 Elämän monimuotoisuus ilmenee monella tasolla 46

Monimuotoisuudella tarkoitetaan elämän erilaisuutta 46
Monimuotoisuuden tasot 47

II Evoluutio saa aikaan monimuotoisuutta

5 Muuntelu on evoluution edellytys 54

Muuntelu auttaa populaation yksilöitä sopeutumaan ympäristöönsä 54
Ympäristön aiheuttama muuntelu ei periydy 55
Perinnöllinen muuntelu tuottaa populaatioon erilaisia yksilöitä 56
Evoluution kuluessa eliöille on kehittynyt erilaisia lisääntymisstrategioita 61

6 Luonnonvalinta ohjaa evoluutiota 63

Luonnonvalinta vaikuttaa populaation perimään .. 63
Valinta toimii eri tavoin vakaassa ja muuttuvassa ympäristössä 64

7 Populaatioista voi syntyä vähitellen uusia lajeja 69

Mikroevoluutiossa laji muuttuu ja makroevoluutiossa syntyy uusia lajeja 69
Isolaatio estää geenivirran ja edistää lajiutumista 71
Sattumakin voi vaikuttaa lajiutumiseen 74
Sopeutuminen ja sopeutumislevittäytyminen 76

8 Elämä syntyy ja kehittyy merissä ... 82

Alkumaapallon olosuhteet olivat suotuisat elämän synnylle 82
Esitumalliset eliöt olivat maapallon ensimmäisiä valtiaita 85

Tumallinen solu syntyy ... 87
Yhdestä solusta monisoluisiksi eliöiksi ... 88
Eläinten kehitys alkaa prekambrikaudella ... 90

9 Elämä siirtyy maalle ... 99

Kasvien ja sienten kehitys alkaa ... 99
Maan valloitus ... 100
Sammakkoeläimet olivat ensimmäisiä maalla eläneitä selkärankaisia ... 102
Ilmaston muutos antoi vallan hirmuliskoille ... 103
Hirmuliskojen sukupuuton myötä valtaan nousivat uudet eliöryhmät ... 104
Eliömaailman kehitys on edennyt välillä tasaisesti ja välillä hyppäyksittäin ... 110

10 Evoluutiota tutkitaan monella tavalla ... 114

Fossiilit evoluutiotutkimuksen apuna ... 114
Molekyylibiologian avulla saadaan tarkempaa tietoa evoluutiosta ... 118
Evoluutiosta kertovat myös rakenteelliset ominaisuudet ja eläinten käyttäytyminen ... 119
Evoluutiota tapahtuu jatkuvasti ... 119

III Miten luonto toimii?

11 Ympäristö vaikuttaa eliöiden elinmahdollisuuksiin ... 124

Ekologia on tiede, joka tutkii eliöiden suhdetta ympäristöönsä ... 124
Eliöiden ympäristö koostuu abioottisista ja bioottisista ympäristötekijöistä ... 126
Eliöt sopeutuvat ekolokeroonsa ... 128
Abioottiset ja bioottiset ympäristötekijät vaikuttavat lajien levinneisyyteen ... 130
Myös epäsuotuisissa oloissa on selviydyttävä ... 132

12 Saman lajin yksilöt muodostavat populaatioita ... 136

Populaation ominaisuuksista voidaan päätellä sen tulevaa kehitystä ... 136
Populaation rakenteeseen vaikuttavat monet tekijät ... 138
Ympäristö asettaa rajat populaation kasvulle ... 139
Reviirikäyttäytyminen estää populaation kasvun liian tiheäksi ... 140
Populaation koko voi vaihdella epäsäännöllisesti 141

13 Alueen lajien populaatiot muodostavat eliöyhteisön ... 143

Lajien välinen kilpailu johtaa erikoistumiseen ... 143
Syödään ja tullaan syödyiksi ... 146
Yhdessä eläminen voi olla monella tavalla edullista ... 148
Hajottajat hyödyntävät kuolleita eliöitä ... 149
Lajit kehittyvät keskinäisessä vuorovaikutuksessa ... 150

14 Ekosysteemi on toimiva kokonaisuus ... 153

Eliöyhteisö ja sen eloton ympäristö muodostavat ekosysteemin ... 153
Aineet kiertävät ekosysteemissä ... 156
Energia virtaa ekosysteemin läpi ... 157
Ekosysteemeissä voi tapahtua suuriakin muutoksia ... 159

15 Ihminen aiheuttaa häiriöitä luonnon toimintaan ... 163

Luonnon monimuotoisuus on uhattuna kaikkialla ... 163
Nykyinen sukupuuttoaalto on ihmisen aiheuttama ... 165
Miksi monimuotoisuus on tärkeää? ... 167
Ekologinen tieto luo pohjaa kestävän kehityksen mukaiselle toiminnalle ... 169

Käsitteet ... 171

1 Monimuotoinen eliömaailma

Kuvittele, että lähdet kulkemaan rauhalliseen tahtiin maapallon ytimestä kohti pintaa. Joudut kävelemään tuhansia kilometrejä, ja vastaasi tulee vain tulikuumaa kiveä eikä merkkiäkään elämästä. Vasta viidensadan metrin etäisyydellä maapallon pinnasta kohtaat ensimmäisiä eliöitä, bakteereja. Kun pääset maapallon pinnalle, on edessäsi valtava määrä erilaisia yksisoluisia eliöitä, kasveja, sieniä ja eläimiä, joita on vedessä, maalla ja ilmassa. Tämän elämän varsinaisen kerroksen eli biosfäärin ohittamiseen sinulta kuluu vain kymmenen sekuntia. Kun jatkat matkaasi ylös ilmakehään, kestäisi kävelynopeudella vain puolisen minuuttia, kun kaikki merkit elämästä ovat kadonneet.

Jakson sisältämät luvut

1. Mitä elämä on?
2. 2000-luku – biologian aikakausi
3. Eliömaailman luokittelu jäsentää elämän monimuotoisuutta
4. Elämän monimuotoisuus ilmenee monella tasolla

1.

Mitä elämä on?

Tiedätkö, että sinussa voi olla samoja atomeja kuin aikoinaan oli Kleopatrassa tai Elviksessä? Entä tiedätkö myös sen, että sinun soluissasi on samoja alkuaineita suunnilleen samassa suhteessa kuin bakteerissa tai voikukan soluissa? Miksi sinä, voikukka ja bakteeri olette eläviä, mutta kivi ja tietokonevirus eivät?

Tähtiä silmissäsi – eli mistä eliöiden sisältämät alkuaineet ovat peräisin

Maailmankaikkeuden yleisimmät alkuaineet ovat vety ja helium. Muita yleisiä alkuaineita ovat happi, hiili, typpi ja fosfori. Nämä kaikki, heliumia lukuun ottamatta, ovat myös yleisimmät alkuaineet kaikissa elävissä eliöissä. Miksi juuri ne ovat yleisimpiä?

Noin 12–15 miljardia vuotta sitten tapahtui tieteen nykykäsityksen mukaan alkuräjähdys. ”Pienenä alkuatomina”, erittäin tiiviinä kasautumana ollut aine levisi kaasuna ja pölynä maailmankaikkeudeksi. Tähdet ja niitä kiertävät planeetat syntyivät vähitellen ainepyörteiden tiivistyminä. Tähtien säteilemä valo ja lämpö perustuu niiden ytimissä tapahtuvaan fuusioreaktioon, jossa kevyet vety-ytimet yhtyvät heliumiksi, jonka seurauksena vapautuu valtavasti energiaa.

Koska kaasu- ja pölypilven aine on jakautunut epätasaisesti, tiheämmissä kohdissa on suurempi vetovoima, jolloin ne vetävät puoleensa lisää ainetta. Lopulta tiheät kohdat liittyvät yhteen ja tiivistyvät varsinaiseksi tähdeksi.

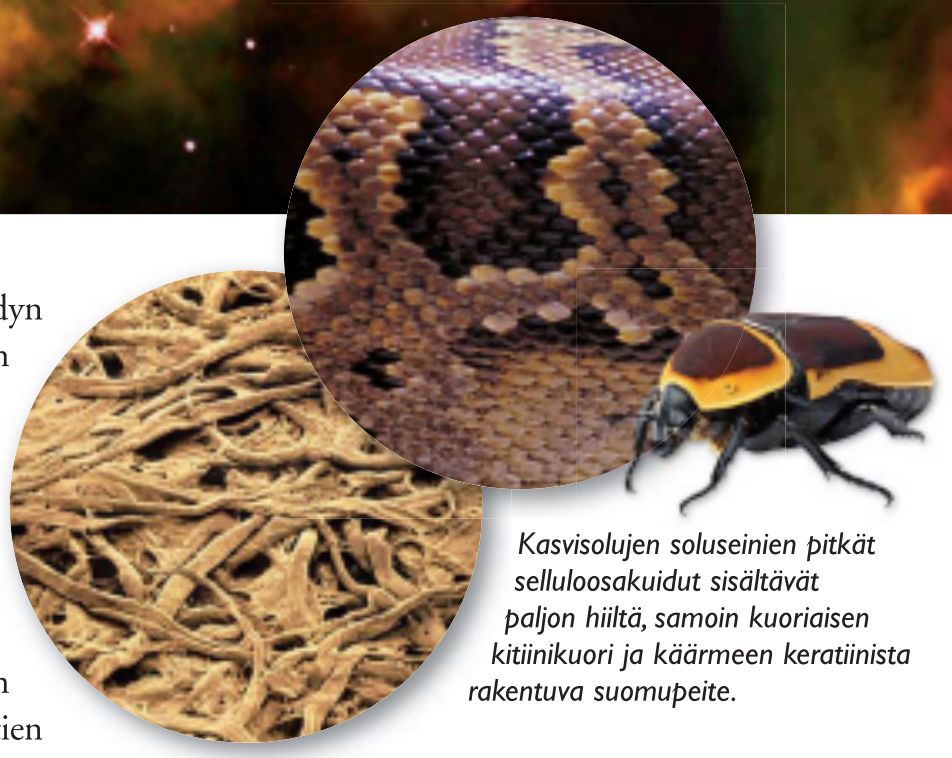
70 kg painavan ihmisen alkuainekoostumus

alkuaine	määrä kg
happi	45,5
hiili	12,6
vety	7,0
typpi	2,1
kalsium	1,05
fosfori	0,70
rikki	0,175
kalium	0,140
kloori	0,105
natrium	0,105
muut aineet	0,525

Suurissa tähdissä reaktio jatkuu siten, että vedyn loputtua helium muuttuu hiileksi. Kun helium on käytetty loppuun, jatkuvat reaktiot tähtien sisällä edelleen. Seuraavissa vaiheissa syntyvät typpi, happi ja fosfori.

Tähdet eivät kuitenkaan elä ikuisesti, vaan ne tulevat ennemmin tai myöhemmin tiensä päähän. Silloin ne räjähtävät, ja niiden sisällä olevat alkuaineet leviävät ympäröivään avaruuteen. Alkuaineet ovat jälleen uusien tähtien ja planeettojen raaka-ainetta. Koko meidän aurinkokuntamme, siis Aurinko ja sitä kiertävät planeetat, on syntynyt noin 4,6 miljardia vuotta sitten alkuaineista, jotka levisivät avaruuteen alkuräjähdyksessä syntyneistä ja sittemmin räjähtäneistä tähdistä. Voidaankin sanoa, että me olemme tähtien lapsia.

Maapallolla alkuaineet ovat jatkuvassa kiertokulussa. Kun eliö kuolee, hajottajat vapauttavat sen sisältämät alkuaineet takaisin elottomaan luontoon, ilmaan, veteen tai maahan, uusien eliöiden rakennusaineiksi. Tämän aineiden kiertokulun vuoksi meissä kaikissa on atomeja, jotka ovat peräisin aiemmin eläneiltä eliöiltä, ovatpa ne olleet sitten ihmisiä, eläimiä, kasveja tai bakteereja.



Kasvisolujen soluseinien pitkät selluloosakuidut sisältävät paljon hiiltä, samoin kuoriaisen kitiinikuori ja käärmeen keratiinista rakentuva suomupeite.

Hiili on elämän rakennusaine

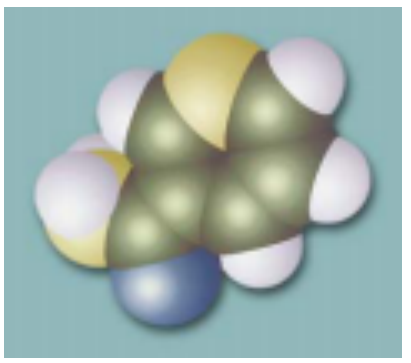
Hiili on elämän kannalta kaikista alkuaineista tärkein. Se johtuu hiilen ainutlaatuisista kemiallisista ominaisuuksista: hiilellä on kyky muodostaa pitkiä ketjuja, joihin voi sitoutua muita atomeja. Yksi hiiliatomi pystyy liittämään itseensä neljä muuta atomia. Muunnelmat tämän hiiliketjun muodossa ja pituudessa lisäävät vielä entisestään hiileen perustuvien orgaanisten yhdisteiden moninaisuutta. Hiiliketju voi nimittäin olla muodoltaan suora, haaroittuva tai rengasmainen, ja myös sen pituus voi vaihdella. Erilaisia orgaanisia hiiliyhdisteitä onkin olemassa miljoonia.

Mistä elämän tunnistaa?

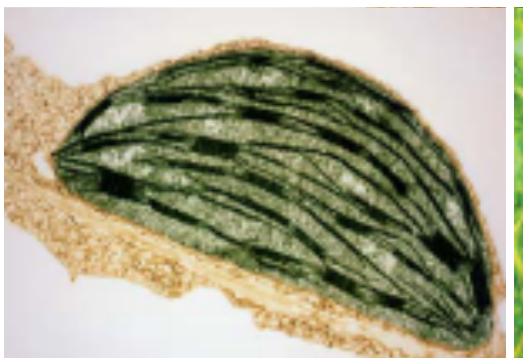
1600-luvulle saakka uskottiin, että elävissä olennoissa on sisällä jokin salaperäinen voima, joka tekee niistä eläviä. Kun eliö sitten kuolee, sen elämänvoima haihtuu pois. 1600-luvun vaihteessa elänyt filosofi Descartes meni toiseen äärimmäisyyteen. Hän esitti, että eläimet ovat koneita. Ei tarvittaisi muuta kuin hyvät kokoonpano-ohjeet, niin elämää voitaisiin luoda laboratorioissa. 1800-luvulla eräs tutkija onnistui valmistamaan orgaanista ainetta, ureaa eli virtsa-ainetta, koeputkessa. Hän ei kuitenkaan voinut väittää, että hän olisi luonut elämää, koska elämä on paljon ureaa mutkikkaampaa. Vaikka määrittely ei aina ole helppoa, ovat elämälle ja näin kaikille eliöille tunnusomaisia tällä aukeamalla esitetyt ominaisuudet.

① Järjestyneisyys

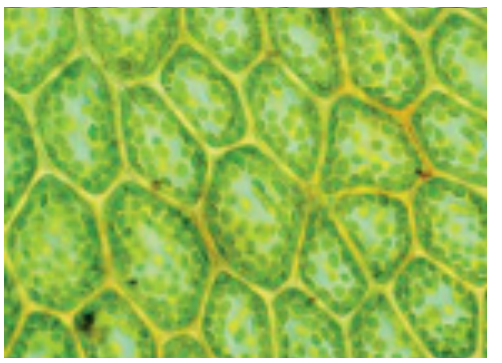
Järjestyneisyys näkyy elämän eri organisaatiotasoilla. Atomit ovat järjestyneet molekyyleiksi, molekyylit makromolekyyleiksi, nämä edelleen soluelimiksi ja soluelimet toimiviksi soluiksi. Solut liittyvät suuremmiksi kokonaisuuksiksi eli kudoksiksi ja solukoiksi, joista rakentuu erilaisia elimiä. Elimistä rakentuu elimistöjä ja niistä yksilöitä. Saman lajin yksilöt muodostavat populaatioita, eri populaatiot eliöyhteisöjä ja eliöyhteisöt yhdessä elottoman luonnon kanssa muodostavat ekosysteemejä. Kaikki ekosysteemit yhdessä muodostavat maapallon biosfäärin eli elämänkehän.



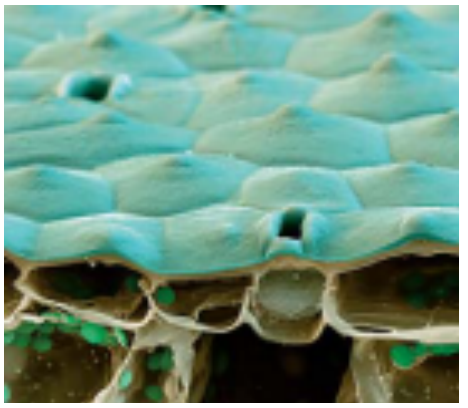
molekyyli



soluelin (viherhiukkanen)



soluja



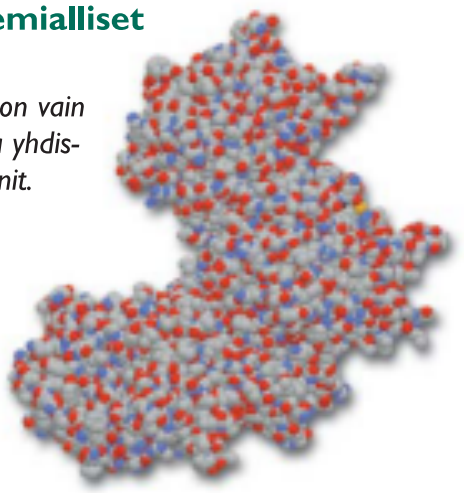
solukko

yksilö

populaatio

② Samankaltaiset kemialliset ominaisuudet

Monia kemiallisia yhdisteitä on vain elollisissa olennoissa. Tällaisia yhdisteitä ovat esimerkiksi proteiinit. Ollessaan irrallaan vaikkapa koeputkessa näillä aineilla ei ole merkitystä elämän kannalta, mutta kun ne muodostavat solun rakenteita tai ovat mukana solun toiminnoissa, niistä tulee osa elämää.



proteiini

③ Informaation sisältäminen ja hyödyntäminen

Solujen informaatio sijaitsee DNA:n geeneissä. Esimerkiksi ihmisellä on DNA-molekyyleissään nykytietämyksen mukaan noin 20 000 perintötekijää eli geeniä. Geenien sisältämän informaation avulla solut kykenevät valmistamaan tarvitsemiaan aineita. Solut lisääntyvät jakautumalla, ja samalla solujen sisältämä informaatio siirtyy uusille soluille.

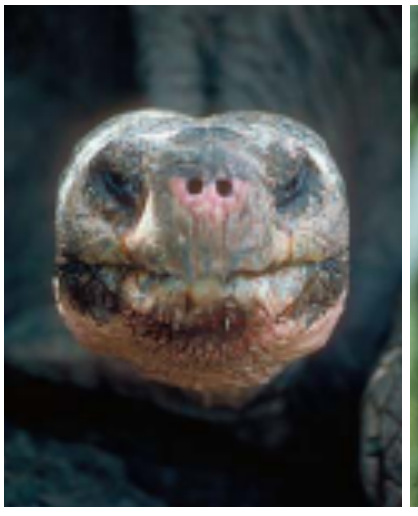
DNA

④ Lisääntyminen

Kaikki eliölajit pystyvät saamaan jälkeläisiä. Lisääntymisen avulla yksilöt siirtävät geeniensä sisältämän informaation uusille sukupolville.

⑤ Elämänkaari

Kaikille eliöille on tyypillistä samanlainen elämänkaari: ne syntyvät, kasvavat ja kuolevat. Toisilla eliöillä elämänkaaren pituus on lyhyempi, toisilla pidempi. Perhonen voi elää aikuisena vain muutaman päivän, jättiläiskilpikonna pitkälti yli sata vuotta ja kalifornialainen aavikkokasvi (kreosoottipensas) jopa 10 000 vuotta.



⑦ Aineenvaihdunta

Aineenvaihdunta on kaikille eläville olennoille yhteistä. Eliöt ovat eräänlaisia avoimia systeemejä: ne ottavat ympäristöstä aineita ja poistavat ympäristöön aineenvaihdunnan jätteitä. Eliöt tarvitsevat ottamiaan aineita rakennusaineiksi ja energianlähteeksi.

⑥ Itsesäätelykyky

Itsesäätelykyky tarkoittaa sitä, että eliö pystyy reagoimaan ympäristöönsä, toisin sanoen se pystyy muuttamaan omaa toimintaansa ympäristöolojen mukaan. Kasvi kääntää lehtensä kohti valoa, jotta se pystyy tehokkaasti keräämään auringon säteilyenergiaa yhteyttämistä varten. Itsesäätelykyky edellyttää sitä, että eliö pystyy keräämään tietoa ympäristöstään.

⑧ Evoluutio

Eliöiden perintötekijöissä tapahtuu muutoksia, jotka mahdollistavat sopeutumisen senhetkiseen ympäristöön ja kyvyn vastata ympäristön muutoksiin. Esimerkiksi ne eläinlajit, jotka ovat saalistuksen kohteena, sulautuvat yleensä hyvin ympäristöönsä kuten kuvassa oleva merihevonen. Parhaimmat naamioitujat säilyvät hengissä ja saavat enemmän jälkeläisiä. Näin huonommin sopeutuneiden yksilöiden määrä pikkuhiljaa vähenee. Tätä lajin kehittymistä kutsutaan evoluutioksi.

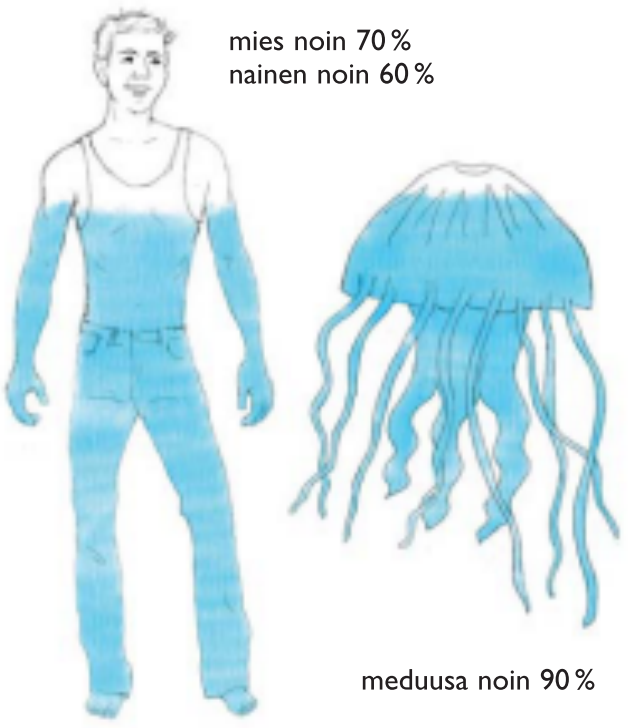
Mitä tarvitaan, jotta elämää voi olla olemassa?

Maapallo on omassa aurinkokunnassamme ainoa planeetta, jolla on elämää. Miksi monimuotoista elämää esiintyy juuri maapallolla eikä esimerkiksi Venus-planeetalla? Mitä muuta tarvitaan rakennusaineiden, kuten hiilen, lisäksi elämän esiintymiseen?

Vesi on tärkeä elämän olemassaololle

Kun etsitään elämää muualta maailmankaikkeudesta, yksi tärkeimmistä elämän löytymisen ehdoista on nestemäisessä muodossa oleva vesi. Miksi vesi on niin tärkeä aine, että ilman sitä ei voi olla elämää ainakaan siinä muodossa, kuin me sen tunnemme?

Veden erikoiset kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet selittävät sen merkitystä elämän olemassaololle. Vedellä on esimerkiksi erittäin suuri ominaislämpökapasiteetti. Se tarkoittaa, että vesi pystyy sitomaan tai luovuttamaan paljon lämpöenergiaa ilman, että sen oma lämpötila muuttuu huomattavasti. Koska suurin osa maapallon pinnasta on vettä, pystyvät nämä suuret vesimassat tasoittamaan tehokkaasti lämpötilanvaihteluja maapallolla ja siten omalta osaltaan luomaan elämän olemassaololle suotuisan lämpötilan.



Kaikki eliöt ovat suurimmaksi osaksi vettä.

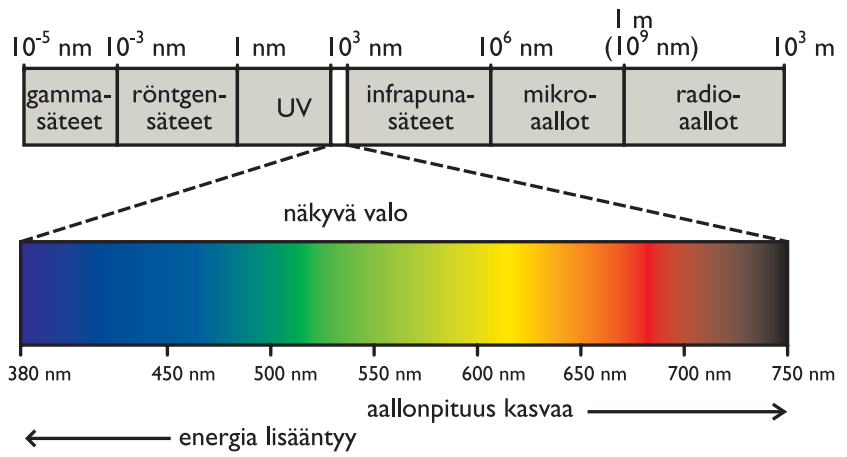
Keskiajalla alkemistit, kullan tekemisen ohella, etsivät parasta liuotinta kemiallisia kokeitaan varten. He totesivat, että vesi on liuottamiseen hyvä aine. Veden kyky liuottaa muita aineita johtuu siitä, että vesimolekyylit tunkeutuvat liuotettavan aineen rakenneosien väliin ja ikään kuin puskevat ne toisistaan irti. Solujen toiminta perustuu erilaisiin kemiallisiin reaktioihin, ja vesi siis muodostaa hyvät olosuhteet näille reaktioille.

Vesi on edellytys kaikkien eliöiden olemassaololle myös siksi, että se on fotosynteesin toinen raaka-aine hiilidioksidin ohella. Fotosynteesissä syntyy sokeria, jota lähes kaikki eliöt käyttävät energialähteenään. Myös fotosynteesin lopputuotteena vapautuva happi on peräisin vesimolekyylistä.

Vesimolekyylien liittymisestä toisiinsa johtuu myös veden pintajännitys, jonka ansiosta esimerkiksi vesimittari pysyy veden pinnalla.

Kylmissä olosuhteissa eliöt pienentävät solujensa vesipitoisuutta, koska vesi muodostaa jäätyessään jääkiteitä, jotka rikkovat solut.

Kasvien siemenet voivat säilyä satoja vuosia elinkykyisinä, koska niiden vesipitoisuus on erittäin pieni ja solujen aineenvaihdunta miltei pysähtynyt. Epäsuotuisissa oloissa myös useat mikrobit pienentävät vesipitoisuuttaan, hidastavat aineenvaihduntaansa ja vaipuvat lepotilaan lepoasteiksi tai lepoitiöiksi.



Auringosta lähtevä säteily luokitellaan eri ryhmiin säteilyn aallonpituuden mukaan. Elämän ylläpidon kannalta tärkeimmät säteilyryhmät ovat näkyvä valo ja lämpösäteily (infrapunasäteet).

Auringosta tuleva näkyvä valo ja lämpösäteily pitävät yllä elämää maapallolla

Maapallolle saapuva säteily on pääosin Auringosta peräisin. Auringosta lähtee kaikkia säteilyn lajeja pitkäaaltoisimmista radioaalloista aina lyhytaaltoisimpiin gamma- ja röntgensäteisiin. Fotosynteesiin kykenevät eliöt saavat yhteyttämisreaktioihinsa tarvittavan energian näkyvästä valosta. Muut eliöt ovat suoraan tai muiden eliöiden kautta riippuvaisia yhteyttävien eliöiden tuottamasta sokerista. Auringosta tuleva lämpösäteily luo maapallolle elämän olemassaolon kannalta sopivan lämpötilan.

Maa sijaitsee ihanteellisella etäisyydellä suhteessa Aurinkoon. Jos Aurinko olisi lähempänä, maapallolla olisi liian kuuma ja vesi höyrystyisi ilmaan. Hieman kaukaisempi sijainti Auringosta aiheuttaisi sen, että lämpötila olisi liian alhainen ja vesi muuttuisi jääksi. Elämän kannalta sopivin lämpötila on +5–+30 celsiusastetta. Tästä säännöstä on tosin poikkeuksia: esimerkiksi kuumissa lähteissä elää bakteereja ja arkkeja, jotka kestävät jopa +80 celsiusasteen lämpötiloja.

Maapalloa ympäröivä ilmakehä pystyy pidättämään suurimman osan haitallisesta lyhytaaltoisesta säteilystä. Ainoastaan pieni osa lyhytaaltoista ultraviolettisäteilyä pääsee maapallon pinnalle saakka. Jos ultraviolettisäteilyltä suojaava otsonikerros häviäisi maapallon ympäriltä, suurin osa maapallon elämästä

Esimerkkejä lämpötilan vaikutuksesta eliöiden elinkykyyn ja elämän esiintymiseen.

tuhoutuisi. Turhaan ei puhuta otsonikerroksen ohentumisesta ja mietitä keinoja sen suojelemiseksi.

Mitä lyhytaaltoisempaa säteily on, sitä enemmän energiaa se sisältää. Lyhytaaltoinen säteily pystyy tunkeutumaan solun sisälle ja muuttamaan solun perintöaineksen rakennetta, mistä voi seurata solun toiminnan muuttuminen tai jopa solun kuoleminen.

Paine, happamuus ja suolapitoisuus rajoittavat elämän esiintymistä

Merenpinnan tasolla ilmanpaine on suuruudeltaan 1 ilmakehä eli 1 bar (100 000 pascalia), ja se kasvaa, kun siirrytään syvemmälle merenpinnan alapuolelle. Jo kilometrin syvyydessä meressä paine on 100 kertaa suurempi kuin merenpinnan tasolla. Eräät eliölajit kestävät jopa 1 500 kertaa normaalia ilmanpainetta suurempaa painetta.

Merenpinnan tasolta ylöspäin siirryttäessä paine laskee. Paineen lasku vaikuttaa siten, että hapen osapaine pienenee (ilma on ”ohutta”). 5 000 metrin korkeudella hapen osapaine on enää puolet siitä, mikä se on merenpinnan tasolla ja Mount Everestin huipulla 8 850 metrin korkeudella vain 30 %. Pieni hapen osapaine asettaa vaatimuksia korkealla elävien eläinlajien hengitys- ja verenkiertoelimistölle.

Maapallolla on elinympäristöjä, joissa joko happamuus (pH-arvo) tai suolapitoisuus ovat voimakkaasti normaalista poikkeavia, ja siitä huolimatta näissäkin elinympäristöissä on elämää. Esimerkiksi monet bakteerit ja arkit kestävät emäksistä tai hapanta ympäristöä tai suurta suolapitoisuutta.

Lumileopardit voivat elää Himalajalla jopa 6000 metrin korkeudessa.

TAUSTATIETOA

VOIKO MUUALLA MAAILMANKAIKKEUDESSA OLLA ELÄMÄÄ?

Tähtienvälisestä avaruudesta on löydetty yli sata erilaista kemiallista yhdistettä, joista suurin osa on orgaanisia yhdisteitä. On havaittu, että eräät eliötkin kestävät avaruuden normaalille elämälle mahdottomia olosuhteita. Nämä huippuselviytyjät ovat bakteereja. Eräässä kokeessa bakteerit jäädytettiin –196 celsiusasteeseen ja lisäksi niitä pommitettiin alkeishiukkasilla. Yli puolet bakteereista selvisi hengissä!

Elämän olemassaoloon tarvitaan hiiltä, koska se pystyy muodostamaan valtavan määrän erilaisia yhdisteitä. Tieteiskirjallisuudessa on esitetty, että muualla olevat elämänmuodot voisivat perustua esimerkiksi piihin, mutta piillä on elämän kannalta useita huonoja ominaisuuksia. Se ei pysty esimerkiksi muodostamaan yhtä pitkiä molekyyliketjuja kuin hiili, ja lisäksi pii muodostaa hapen kanssa reagoidessaan kivikovaa piidioksidia. Hiilen ohella muita elämän olemassaolon vaatimuksia ovat sopiva lämpötila, nestemäisessä olomuodossa oleva vesi, energianlähde, riittävä määrä elämän kemiallisia raaka-aineita ja kaasukehä.

Onko maailmankaikkeudessa sellaisia taivaankappaleita, joilla toteutuisivat edellä mainitut elämän edellytykset? Marsin pinnan alta on löytynyt jäätä, mutta ainakaan vielä ei ole havaittu mitään merkkejä elämän olemassaolosta Marsissa. Yksi suuren kiinnostuksen kohde on tällä hetkellä Jupiterin Europa-kuu. Vuonna 1997 Galileo-avaruusalus lähetti kuvia, joista selvisi, että Europan pinta on jäätä, jonka alla voi olla nestemäistä vettä. ■

Öistä tähtitaivasta.

TEHTÄVÄT

1. Elämän käsitteet

Laita käsitteet suuruusjärjestykseen pienimmästä aloittaen: elin, ekosysteemi, solu, makromolekyyli, populaatio, soluelin, atomi, eliöyhteisö, kudos, biosfääri, molekyyli, elimistö, eliö.

2. Elämän perusominaisuudet

Mitkä seuraavista eivät ole kaikille eliöille yhteisiä ominaisuuksia?

- lisääntyminen
- unen tarve
- perinnöllisyys
- ajattelukyky
- evoluutio
- elämänkaari
- liikkumiskyky
- järjestyneisyys
- aineenvaihdunta
- samankaltaiset kemialliset ominaisuudet

3. Elämän tunnusmerkkejä ja sopeutumiskeinoja

Miten on selitettävissä, että

a. nykyisissä eliöissä on kauan sitten kuolleiden eliöiden atomeja?
b. hiili on elämän tärkein rakennusaine?
c. vesi on elämän olemassaolon edellytys?
d. korkealla vuoristossa elävillä ihmisillä veren punasolujen määrä ja hemoglobiinipitoisuus ovat suuremmat kuin lähempänä merenpinnan tasoa elävillä ihmisillä?
e. syvänmeren eliöitä on vaikea saada ehjinä tutkittavaksi?
f. kasvien siemenet voivat säilyä itämiskykyisinä kymmeniä vuosia?

4. Miten merinisäkkäät selviävät pitkistä sukelluksista?

Merinisäkkäät, kuten valaat, pystyvät sukeltamaan satojen metrien syvyyteen ja pidättämään hengitystään monesta minuutista jopa tuntiin. Miten seuraavat merinisäkkäiden rakenteelliset ja toiminnalliset ominaisuudet auttavat niitä pysymään sukelluksissa pitkiä aikoja?

a. Suuri verimäärä suhteessa ruumiinpainoon.
b. Lihaksissa kymmenen kertaa enemmän happea sitovia myoglobiinimolekyylejä kuin maanisäkkäillä.
c. Korkea maitohaponsietokyky.
d. Aineenvaihdunnan hidastuminen sukelluksen aikana.
e. Sydämen lyöntitiheyden hidastuminen 10–50 % verrattuna normaaliin.
f. Hapekkaan veren virtauksen keskittyminen aivoihin ja sydämeen.

5. Eliöiden yhteiset piirteet

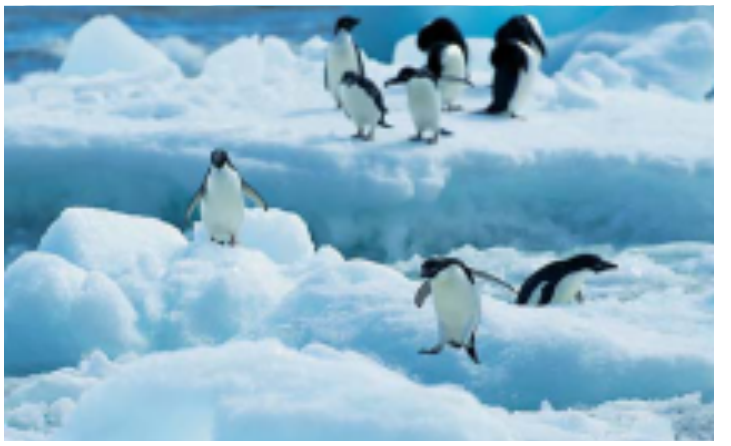
yo k-04

Eliöillä on yhteisiä ominaispiirteitä, jotka erottavat ne elottomasta luonnosta. Nimeä näistä kuusi ja selvitä lyhyesti kunkin merkitys eliöille.

6. Elämän esiintymistä rajoittavat tekijät

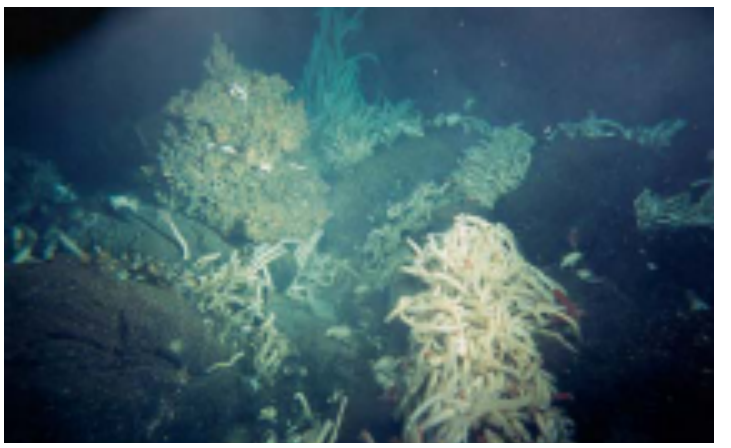
Mitkä tekijät rajoittavat ja millä tavoin elämän esiintymistä valokuvien A–D esittämillä alueilla?

A. *Aavikko*



B. *Etelämanner*

C. *Himalajan ylänköalue 6 000 m merenpinnan yläpuolella*



D. *Atlantin keskiselänne 3 000 m merenpinnan alapuolella*

Yhteenveto

Kaikki eliöt koostuvat samoista alkuaineista.

Aineet kiertävät elottoman ja elollisen luonnon välillä.

Hiili on tärkein elämän rakennusaine, koska se pystyy muodostamaan monenlaisia orgaanisia yhdisteitä.

Kaikkia eliöitä yhdistävät samat perusominaisuudet.

Elämän esiintymiselle välttämättömiä tekijöitä ovat lämpö, valo ja nestemäisessä olomuodossa oleva vesi sekä oikeat alkuaineet.

Nestemäinen vesi on elämälle tärkeä, koska se on hyvä liuotin, aineiden kuljettaja, lämmöntasaaja ja fotosynteesin raaka-aine.

Elämän esiintymistä maapallolla rajoittavat myös paine, happamuus ja suolapitoisuus.

Avainsanat

alkuaine
elämä
elämän organisaatiotasot
happamuus
hiili
lämpötila
paine
suolapitoisuus
säteily
valo
vesi

2.

2000-luku – biologian aikakausi

Biologia on näkyvästi esillä jokapäiväisessä elämässämme. Nobelin lääketieteen palkinnot jaetaan useimmiten biologiaan liittyville tutkimuksille. Kloonaus on tullut käsitteenä tutuksi useille ihmisille. Tieteiselokuvien tekijäryhmissä on mukana eläintieteilijöitä, joiden tehtävänä on luoda evoluution kannalta uskottavia avaruuden asukkaita tai muinaisaikojen hirmuliskoja. Biologisen tiedon avulla ratkotaan tulevaisuudessa monia ongelmia ja tarjotaan uusia keksintöjä koko ihmiskunnan käyttöön.

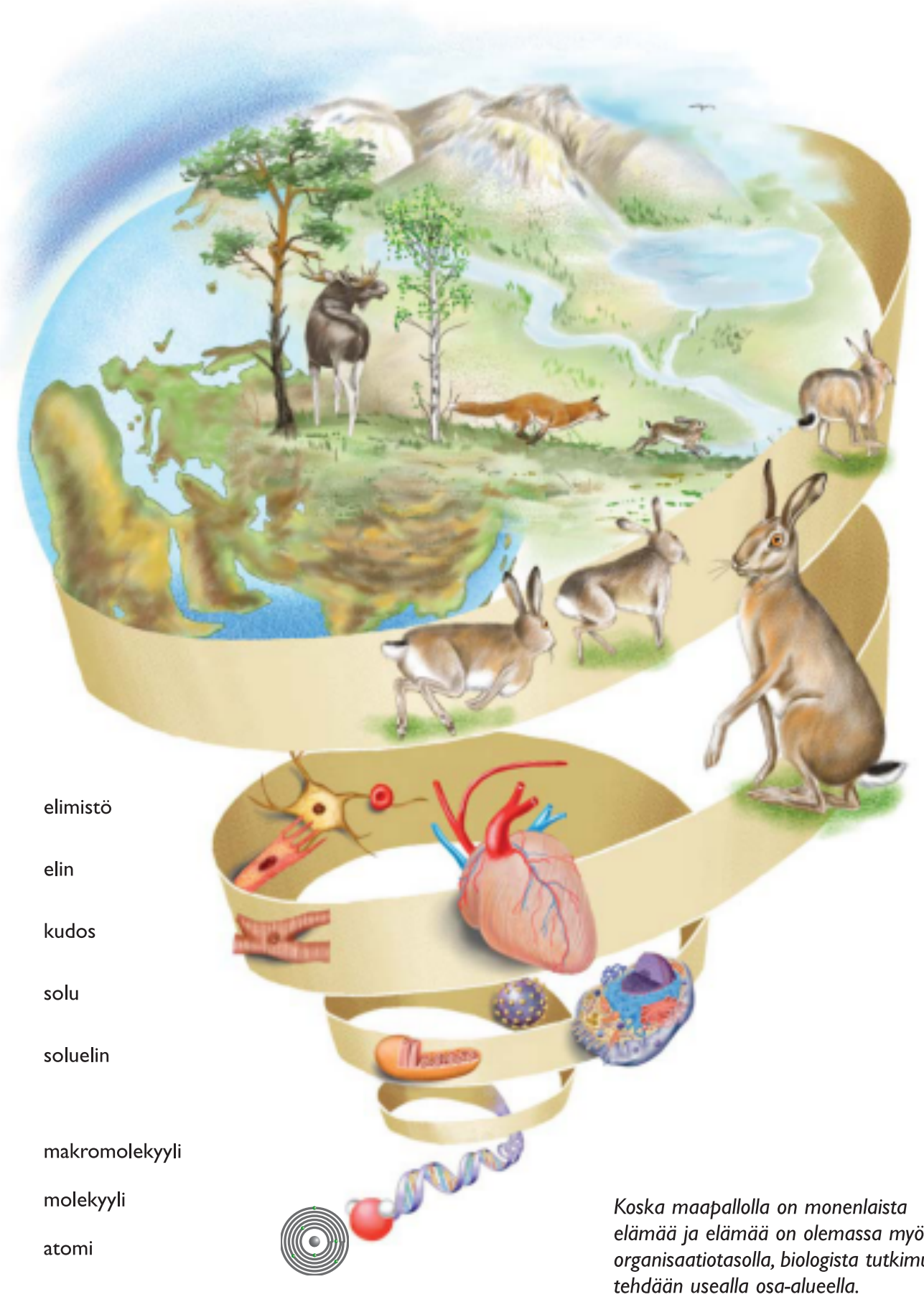
Miten biologinen tietämys on kehittynyt?

Alkuperäinen luonto ja sen tarjoamat ravinnonlähteet olivat ihmisille aiemmin vielä tärkeämpiä kuin nykyään. Myrkylliset kasvit piti erottaa hyödyllisistä, ja eläinten käyttäytymisen ymmärtäminen takasi paremman metsästysonnen. Lisäksi oli tärkeää havainnoida luonnonilmiöitä ja tehdä näistä havainnoista päätelmiä. Esimerkiksi eri kasvit kukkivat ja tuottavat satoa eri aikaan kesästä, joten niistä pystyi päättelemään ajankulun. Lintujen muutto ja eläinten vaellukset kertoivat puolestaan vuodenaikojen vaihtumisesta.

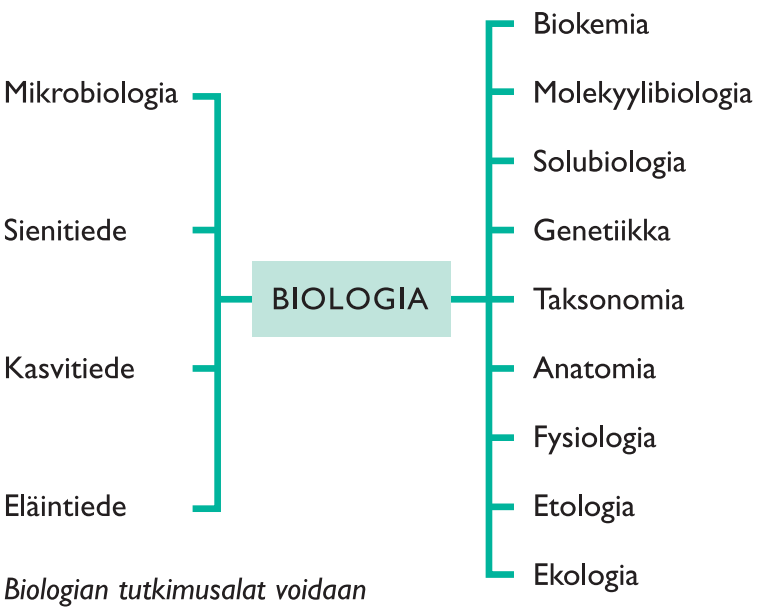
Sairauksien hoito perustui luonnosta saataviin lääkekasveihin. Kun keräily- ja metsästystaloudesta siirryttiin maatalouteen, tarvittiin lisää tietoa esimerkiksi kasvien vaatimista kasvuolosuhteista tai luonnonvaraisten eläinten hyödyntämisestä kotieläiminä. Biologinen tietämys turvasi edelleen ihmisten ravinnonsaannin ja hengissä säilymisen.

Elämää tutkitaan monista eri näkökulmista

Biologia oli aiemmin jaettu vain kahteen osa-alueeseen, eläin- ja kasvitieteeseen. Koska biologiset tutkimusvälineet ovat kehittyneet yhä monipuolisemmiksi ja tarkemmiksi, myös biologinen tutkimus on laajentunut uusille alueille. Uudeksi osa-alueeksi on tullut mikrobiologia, johon kuuluu bakteriologia eli bakteerien tutkimus ja virologia eli virustutkimus.



Koska maapallolla on monenlaista elämää ja elämää on olemassa myös eri organisaatiotasolla, biologista tutkimusta tehdään usealla osa-alueella.



Biologian tutkimusalat voidaan jakaa eri ryhmiin sen mukaan, mitä eliöryhmää tai mitä elämään liittyvää ilmiötä tutkitaan.

Solubiologian ja pienten eliöiden anatomian tai jopa loissairauksien tutkimisessa voidaan hyödyntää uusimpia tutkimusvälineitä.

Nisäkäs- ja lintututkija kenttätyössään.

1900-luvun alkuun saakka biologinen tutkimus keskittyi eliöiden rakenteiden eli anatomian tutkimiseen sekä eliöiden luokitteluun eli taksonomiaan. Vähitellen anatomisen tutkimuksen rinnalle nousi yhtä tärkeään asemaan eliöiden toiminnan tutkimus eli fysiologia. 1900-luvun alussa syntyi uusi tiede, biokemia, jossa kemiallinen ja biologinen tutkimus yhdistyvät. Biokemiankin tutkimustulokset ovat osoittaneet, että biologian perinteinen jako eläin- ja kasvitieteeseen on keinotekoinen. Syynä on se, että kaikkien solujen rakenteessa ja toiminnassa on hyvin paljon yhteistä, on kyseessä sitten kasvi-, eläin- tai vaikkapa sienisolu. Biokemiallinen tutkimus vauhditti näin solubiologian kehittymistä. Perinnöllisyystiede eli genetiikka oli vielä 1900-luvun alussa ainoastaan periytymisen lainalaisuuksien selvittämistä, mutta nykyisin sen tärkeitä tehtäviä ovat esimerkiksi geenien rakenteen ja toiminnan tutkiminen.

Molekyylibiologia on nopeasti kehittyvä biologian ala, ja siinä tutkitaan biologian ilmiöitä molekyylitasolla. Molekyylibiologian tietoja sovelletaan biotekniologiassa, jonka yksi tärkeä osa-alue on geeniteknologia eli perintöaineksen keinotekoinen muokkaaminen ja siirtäminen. Perinteisiä, mutta uudella tavalla esille nousseita biologian osa-alueita ovat ekologia eli luonnon toiminnan tutkiminen ja etologia eli eläinten käyttäytymisen tutkiminen. Etologian avulla saamme esimerkiksi uutta tietoa siitä, miten uhanalaiset eläimet saadaan lisääntymään eläintarhoissa. Ekologia on keskeinen tutkimusala, koska ekologista tietoa tarvitaan turvaamaan monimuotoisen elämän säilyminen maapallolla. Ekologista tietoa tarvitaan myös ympäristöongelmien ratkaisussa ja ravinnontuotannossa.

Sen lisäksi, että biologian eri osa-alueiden tutkijat tekevät keskenään tutkimustyötä, tieteellinen tutkimus on nykyisin usein monitieteellistä. Esimerkiksi aivotutkimuksessa tarvitaan tietoa biologian, kemian, fysiikan ja psykologian alalta, ja ympäristötekniikassa taas tarvitaan biologian, fysiikan ja matematiikan tietämystä. Tämän vuoksi tieteellinen tutkimus on useimmiten myös tiimityötä.

Englannissa sijaitsee maailman suurin kasvihuone (Project Eden), jonne on istutettu muun muassa 5 000 trooppista kasvilajia. Kasvihuoneen yhtenä tarkoituksena on tutustuttaa ihmiset luonnon monimuotoisuuteen.

Mitä sitten on odotettavissa 2000-luvulla? Lajien monimuotoisuutta ja niiden sukulaisuussuhteita on ryhdytty kartoittamaan laajan kansainvälisen Elämän puu -projektin avulla. Huippuvuorille on perustettu siemenpankki, johon on määrä säilöä näytteet maapallon kaikkien viljelykasvien siemenistä. Näin halutaan estää viljelykasvien geenien mahdollinen häviäminen tulevaisuudessa. Elimiä voidaan kasvattaa kantasoluista. Saasteita syöviä mikrobeja kehitetään. Tekoälytutkimus käyttää hyväkseen Charles Darwinin teoriaa luonnonvalinnasta, ja tähtäimessä on luovien koneiden kehittäminen.

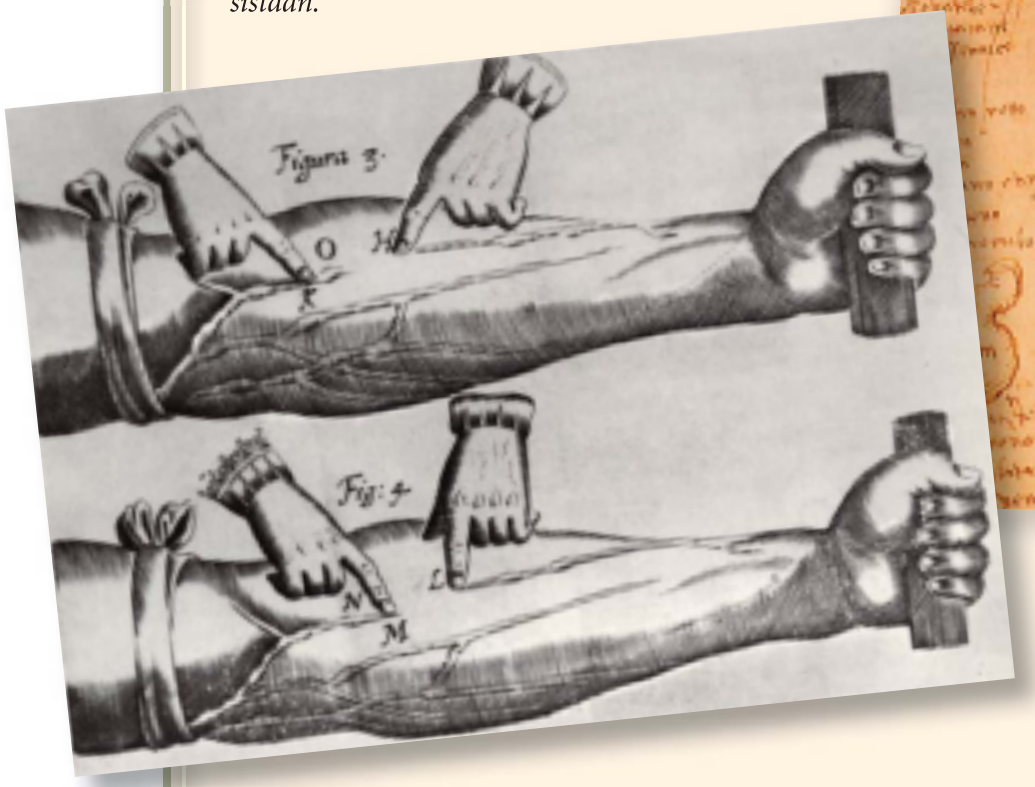
Nopeasta kehityksestä huolimatta biologiassa on edelleen ratkaisemattomia ongelmia: Miten elämä syntyi maapallolla? Miten aivot toimivat? Kuinka monta lajia maapallolla elää? Miten voidaan estää lajien kuoleminen sukupuuttoon? Mahdollisuuksia ja tarvetta biologiseen tutkimukseen ja tiedon soveltamiseen on valtavasti.

BIOLOGIAN HISTORIAA

Varsinainen biologinen tutkimus alkoi antiikin Kreikassa. Biologian isänä pidetään Kreikassa n. 500 eKr. elänyttä Alkmaionia, joka perehtyi useisiin biologian tutkimusalueisiin. Alkmaion tutki esimerkiksi silmän rakennetta ja toimintaa ja oivalsi, että aivot ovat aistimusten ja ajattelun keskus. Vähän Alkmaionia myöhemmin elänyt kreikkalainen filosofi Aristoteles tutki eläimiä ja kokosi aikansa biologisen tietämyksen omiin kirjoituksiinsa.

Italiassa 1500-luvulla elänyttä Vesaliusta pidetään anatomian eli eliöiden rakennetta tutkivan tieteenalan luojana. Hän ei luottanut toisten havaintoihin vaan teki itse ruumiinavauksia. Myös samaan aikaan elänyt kuuluisa taidemaalari Leonardo da Vinci perehtyi tarkasti ihmisen anatomiaan, mikä ilmenee hänen loistavista ihmisaiheisista maalauksistaan.

Leonardo da Vinci kuvasi ihmisen anatomisia rakenteita pikkutarkasti.



Kuvia William Harveyn julkaisemista luonnoksista, joiden avulla hän havainnollisti, miten veri virtaa laskimoiden kautta takaisin sydämeen.

Redin koe

Fysiologian eli eliöiden elintoimintojen tutkimus sai puolestaan alkunsa 1600-luvulla, kun englantilainen William Harvey selvitti, miten ihmisen verenkierto toimii. Mikroskoopin keksiminen saman vuosisadan lopulla oli tärkeä edistysaskel koko biologisessa tutkimuksessa, koska sen ansiosta pystyttiin tutkimaan yhä pienempiä kohteita kuten soluja.

Näistä tieteen edistysaskelista huolimatta eli vielä samaan aikaan uskomus, että elottomasta aineesta voi syntyä elollista: luultiin esimerkiksi, että pilaantuvasta lihasta syntyy kärpäsiä ja liasta rottia. Francesco Redi todisti kokeillaan tämän uskomuksen vääräksi. Redi laittoi astioihin raakaa lihaa ja peitti osan astioista harsolla. Muutaman päivän päästä harsolla päällystetyissä astioissa oleva liha alkoi kyllä pilaantua, mutta niihin ei ilmestynyt yhtään kärpästä. Sen sijaan niihin astioihin, jotka eivät olleet harson peittämiä, ilmestyi kärpäsen toukkia ja kärpäsiä. Näin Redi todisti, että kärpäsiä ei voi syntyä mädäntyvään lihaan itsestään.

Ihmisillä on aina ollut tarve luokitella asioita. Eliöiden tieteellisen luokittelujärjestelmän kehitti ruotsalainen Carl von Linné 1700-luvulla, ja tämä järjestelmä on käytössä nykyäänkin. Hän antoi kaikille kasveille ja eläimille kaksiosaiset tieteelliset nimet. Luokittelun kielenä, kuten niin usein muutenkin tieteessä, käytetään latinaa.

1800-luvulla biologiassa saavutettiin useita tärkeitä edistysaskeleita. Theodor Schwann totesi, että kaikki eliöt koostuvat soluista ja että solu on elintoimintojen perusyksikkö. Ranskalainen Louis Pasteur todisti, että elottomasta aineesta ei voi syntyä elollista, ei edes mikrobeja. Vuonna 1859 Charles Darwin julkaisi kirjansa Lajien synty, jossa hän esitti evoluutioteorian periaatteet. Biologia -käsitteen käyttö yleistyi, ja käsitteen merkitykseksi vakiintui 'elämänoppi'. Perinnöllisyystieteen isä, Gregor Mendel, julkaisi 1860-luvulla tutkimustuloksiaan herneillä tekemistään risteytyskokeista, mutta tulokset jäivät unohduksiin moniksi vuosikymmeniksi. Mendel oli aikaansa edellä, koska itse perintötekijöistä eli geeneistä ei vielä 1800-luvulla tiedetty mitään. Mendelin tutkimustulosten merkitys oivallettiin vasta 1900-luvun alussa.

1900-luvulla erityisesti solu- ja molekyylibiologian tutkimus on tuonut paljon uutta biologista tietoa. 1900-luvun alussa de Vries esitteli käsitteen mutaatio, jolla hän tarkoitti muutosta perintötekijöissä, ja Thomas Morgan loi perustan geenikartoitukselle. DNA:n rakenne selvitettiin 1950-luvun alussa ja 2000-luvulle tultaessa ei ole ollut juuri päivääkään, jolloin tiedotusvälineissä ei olisi ollut biologiaan liittyviä uutisia.

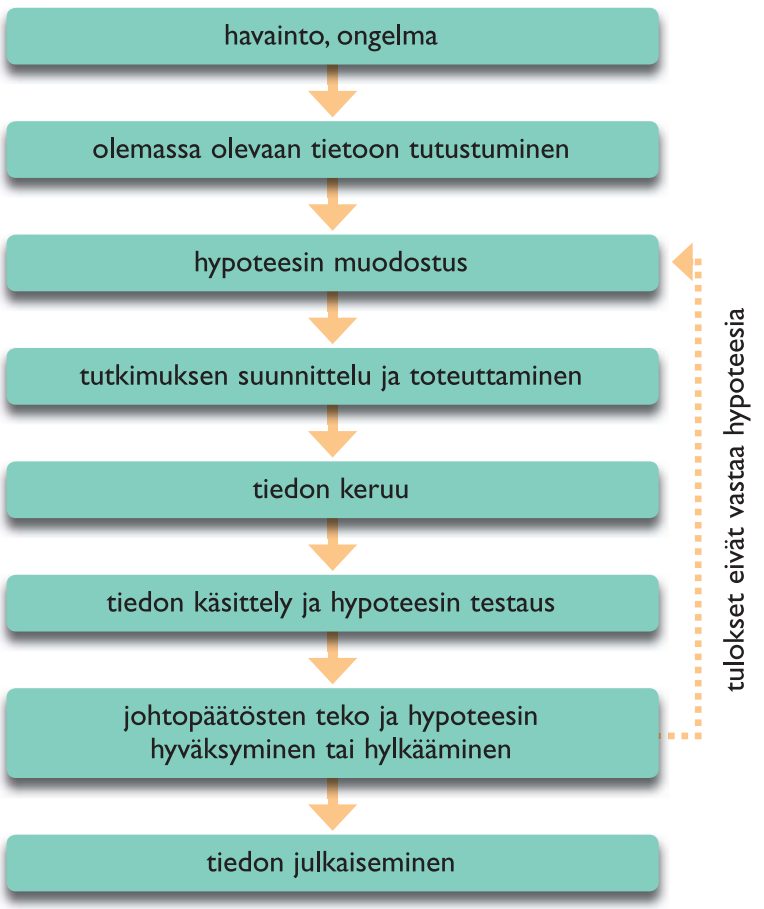
James Watson ja Francis Crick selvittivät DNA:n rakenteen Rosalind Franklinin DNA:sta ottamien röntgenkidekuvien perusteella. Watson ja Crick saivat vuonna 1962 Nobelin palkinnon tästä tärkeästä keksinnöstä.

Carl von Linnén luokittelujärjestelmässä kaikki eliöt nimetään kaksiosaisella nimellä.

Rhododendron tomentosum

Tieteellisessä tutkimuksessa tarvitaan luovuutta ja uutteruutta

Luonnontieteelliselle tutkimukselle on tyypillistä, että siinä noudatetaan tiettyjä sääntöjä. Siten eri tutkijat voivat tehdä samoja kokeita yhä uudelleen varmentaakseen ja testatakseen tulokset. Kun useat tutkijat saavat samasta tutkimuksesta samanlaisia tuloksia, voidaan tulosten perusteella kehittää jokin tieteellinen laki. Lakien avulla kyetään puolestaan muodostamaan laajempia tietojärjestelmiä, teorioita. Lait ja teoriat eivät välttämättä ole pysyviä, vaan ne voivat muuttua. Tieteellisessä tutkimuksessa tarvitaankin siksi avointa mieltä, luovuutta ja mielikuvitusta. Joskus tarvitaan jopa rohkeutta luopua aiemmin oikeana pidetystä käsityksestä, jotta voi syntyä uutta. Jo Einstein totesi aikoinaan, että tärkeintä on mielikuvitus, ei tieto.



Biologisen tutkimuksen vaiheet

Biologinen tutkimus alkaa havainnoilla ja kysymyksillä

Useimmat biologiset tutkimukset alkavat havaintojen teolla. Havainnot voivat liittyä esimerkiksi saimaannorppien nopeaan vähenemiseen, puistometsien rehevään kasvuun kaupunkialueilla tai siihen, että monet perhostoukat ovat kirkkaanvärisiä. Havainnot johdattelevat tutkijan tekemään kysymyksiä. Onko saimaannorppien väheneminen yhteydessä veneilyyn tai lisääntyneeseen verkkokalastukseen? Johtuuko puistometsien rehevä kasvu ilmaston lämpenemisestä, lisääntyneistä koirien jätöksistä vai jostain muusta? Mitä hyötyä perhostoukille on erikoisesta väristä?

Tutkija aloittaa vastausten etsimisen siten, että hän kerää mahdollisimman paljon jo olemassa olevaa tietoa kyseisestä asiasta ja perehtyy siihen huolellisesti. Tieto-

Havainto, jonka perusteella voidaan muotoilla tutkimusongelma: vaarattoman valekorallikäärmeen (vas.) ruumiin mustat ja punaiset renkaat harhauttavat sen saalistajia. Pedot luulevat sitä kuvioinniltaan samanlaiseksi, mutta erittäin myrkylliseksi korallikäärmeeksi (oik.) ja jättävät sen rauhaan. Miten nämä valekorallikäärmeen värisymbolit ovat kehittyneet?

lähteinä ovat aiemmat, tutkittavaa asiaa sivuavat tieteelliset tutkimukset ja alan julkaisut. Usein tutkija muodostaa tutkimusoletuksen eli hypoteesin tekemiensä havaintojen ja kokoamansa taustatiedon perusteella. Hypoteesi on ikään kuin tieteellinen arvaus, joka pyrkii vastaamaan asetettuihin kysymyksiin ja selittämään tutkijan tekemien havaintojen syyt.

Jo 1800-luvulla tutkijat ihmettelivät miksi monet saaliseläimet, lähinnä hyönteisten toukat, ovat kirkkaanvärisiä. Lisäksi eri eliölajien väritys sekä niin sanotut varoitusmerkit muistuttavat toisiaan. Tutkijat huomasivat, että ne pedot, jotka käyttivät saalistamisessa näköaistiaan, jättivät usein kirkkaanväriset saaliseläimet rauhaan. Tarkemmat tutkimukset osoittivat, että osa värikkäistä lajeista oli joko myrkyllisiä tai pahanmakuisia. Ne siis tiedottivat saalistajilleen, että niitä ei kannata pyydystää. Saalistajat ovat aikojen kuluessa oppineet välttämään näitä lajeja.

Varoitusvärien evoluution selittämisessä on kuitenkin kohdattu suuria ongelmia. Miten on ollut mahdollista, että esimerkiksi ensimmäiset kirkkaanväriset saaliseläimet ovat säilyneet muuten hyvin naamioituneessa saaliseläinpopulaatiossa? Pedothan ovat helposti havainneet poikkeavan väriset yksilöt ja syöneet ne. Tutkijat ovat esittäneet ongelmaan kaksi toisistaan poikkeavaa hypoteesia.

Hypoteesin muodostaminen

Ensimmäisen hypoteesin mukaan hyvin ympäristöönsä naamioitunut saaliseläinpopulaatio on esiintynyt ryhmänä. Esimerkiksi voidaan ottaa saman perhosnaaraan munista kehittyneet toukat: jos yhden naaraan perimässä tapahtuu mutaatio, se muuttaa kaikki kyseisen naaraan jälkeläiset poikkeavan värisiksi. Nyt pedot huomaavat toukat helpommin, mutta kun peto on maistanut osaa toukista ja huomannut ne pahanmakuisiksi, se oppii jättämään muutkin samanväriset toukat rauhaan. Osa toukista siis ”uhrautuu” sisaruksiensa puolesta opettaakseen petoa välttämään kirkkaan värisiä saaliita. Tätä hypoteesia kutsutaan sukulaisvalintahypoteesiksi.

Sukulaisvalintahypoteesilla selitetään, miksi saaliin kannattaa esiintyä suuressa ryhmässä. Osa saaliista ”uhrautuu” sisaruksiensa puolesta opettaakseen petoa välttämään kirkkaan värisiä saaliita. Yksilönvalintahypoteesin mukaan pedot ovat maistaneet varovasti pahanmakuisia, varoitusvärisiä saaliita. Maistamisen jälkeen pedot ovat jättäneet muutkin värikkäät saaliit rauhaan.

Toinen hypoteesi pohjautuu yksilönvalinnalle. Tätä hypoteesia puoltavat ne havainnot, että kokemattomat pedot jättävät yksittäisetkin oudon näköiset toukat varovaisen maistamisen jälkeen rauhaan vahingoittamatta niitä millään tavalla.

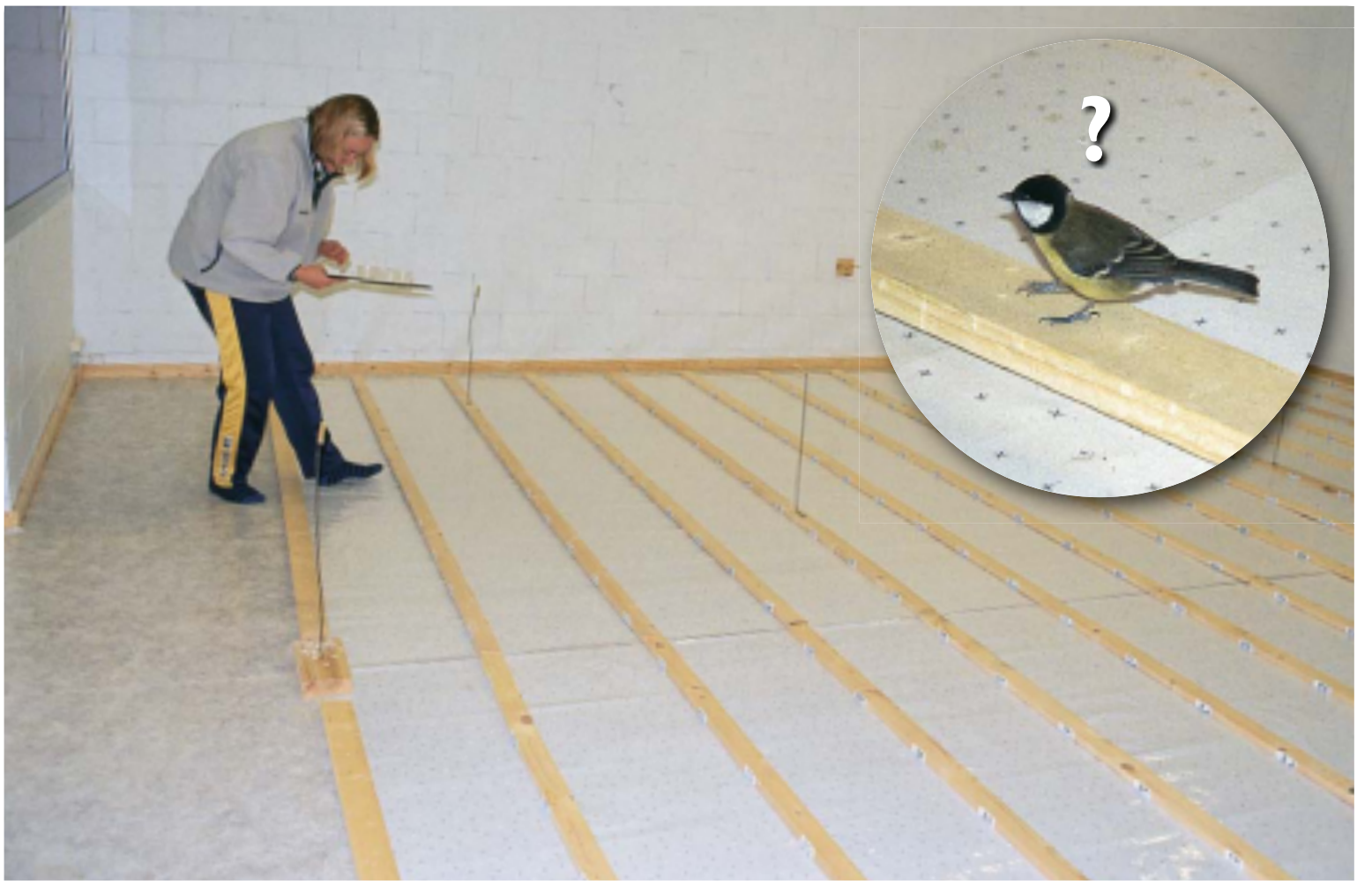
Kokeellista tutkimusta on kuitenkin pidetty lähes mahdottomana, koska pedoilla ja niiden saaliseläimillä on pitkä yhteinen evolutiivinen historia. Pedot ovat oppineet, että esimerkiksi musta-keltainen -väriyhdistelmä tietää vaaraa, ja ne osaavat valita saaliita, joilla ei esiinny varoitusvärejä.

Tutkimuksen suunnittelu ja toteuttaminen

Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksella tutkittiin, miten varoitusvärien evoluutio on tapahtunut ja kumpi esitetyistä hypoteeseista pitää paikkaansa. Tutkijat ratkaisivat tutkimusasetelmaansa liittyvän ongelman luomalla keinomaailman, joka perustui symboleihin. Tutkimuksessa käytettiin ”petona” talitiaista ja saalistettavina ”lajeina” olivat rasvalla täytetyt hyvän- ja pahanmakuiset olkitikut. Tutkimuksen

keinomaailmaan rakennettiin lattia, johon piirrettiin ruutu- ja ristikuvioita. Jos talitiaisen saaliissa oli sama symboli kuin lattian taustassa, se tarkoitti syötävää saalista. Jos saaliissa oli erilainen symboli kuin taustassa, oli kyseessä pahanmakuinen saalis. Keinomaailmassa pedot joutuivat kohtaamaan täysin uudenlaisia signaaleita, joihin ne eivät evolutiivisen historiansa aikana olleet sopeutuneet.

Talitiaisen havitteleman hyvänmakuisen olkitikun symboli oli joko ristitaustalla oleva risti tai ruututaustalla oleva ruutukuvio. Symbolin ja taustan samanlaisuuden ansiosta saalis, eli tässä tapauksessa maukas olkitikku naamioitui taustaansa hyvin. Talitiaisen piti varoa pahaa saalista, jota symboloi joko ristitaustalla oleva ruutu tai ruututaustalla oleva ristikuvio. Nyt symboli erottui hyvin taustasta ja saalis, eli olkitikku erottui hyvin. Saalis saatiin pahanmakuiseksi lisäämällä rasvaan karvaanmakuista kiniiniä. Saaliit aseteltiin keinomaailman alustalle yksittäin tai ryhmittäin, koska haluttiin tutkia myös sitä, onko saaliille edullista elää ryhmässä. Tutkimuksen tulos oli, että talitiainen oppi välttämään pahanmakuista saalista nopeammin silloin, kun karvaat olkitikkusaaliit oli aseteltu ryhmään.



Talitiaisen piti tutkijoiden rakentamassa keinomaailmassa oppia välttämään lattiasta hyvin erottuvia, pahanmakuisia saaliita. Luonnossa saalis olisi kirkkaavärinen, myrkyllinen hyönteisen toukka.

Hyvänmakuinen saalis oli rasvalla täytetty olkitikku. Tikussa oli sama symboli kuin lattiassa.

Pahanmakuinen saalis oli rasvalla täytetty olkitikku, joka on terästetty karvaanmakuisella kiniinillä. Tikussa oli eri symboli kuin lattiassa.

Alatalo, R.V. & Mappes, J. 1996: Tracking the evolution of warning signals - Nature 383:708-710.

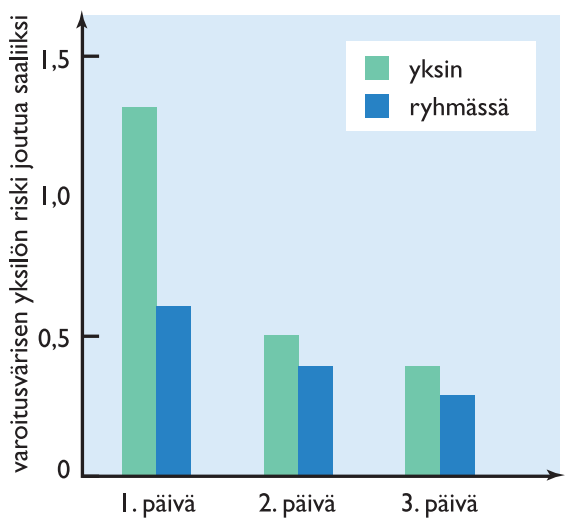
Jonkin ajan kuluttua koe toistettiin samoilla linnuilla. Tällä kertaa saaliina oli hyvänmakuisia mantelilastuja, joihin oli liimattu samat symbolit, risti ja ruutu. Linnut jättivät syömättä myös yksittäin esiintyvät, selkeästi taustastaan erottuvat saaliit, vaikka ne olivatkin hyvänmakuisia.

Tutkimusta jatkettiin samoilla linnuilla ja samoilla symboleilla, mutta saalista vaihdettiin. Saaliina toimi tällä kertaa hyvänmakuinen mantelilastu, johon oli liimattu jälleen ruutu- tai ristisymboli. Saaliit aseteltiin samalle taustalle taas joko yksitellen tai ryhmittäin. Nyt huomattiin, että talitiainen osasi välttää myös yksittäin esiintyviä ja pahanmakuisilta näyttäviä eli taustasta hyvin erottuvia saaliita. Talitiainen oli siis oppinut, että mikä tahansa saalis, joka erottui hyvin taustasta voi olla karvaan makuinen. Kiniinillä terästetyt olkitikut olivat opettaneet sen varomaan myös maukkaita mantelilastuja, jos niissä oli selvästi ympäristöstään erottuva symboli.

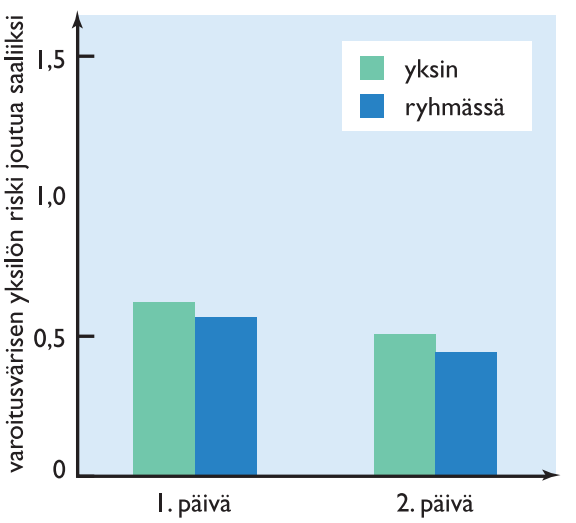
Tiedon käsittely ja hypoteesin testaus

Kun on kerätty tarpeeksi laaja tutkimusaineisto, vuorossa on tiedon käsittely. Koska tietoa on paljon, käytetään nykyisin apuna erilaisia tilastotieteellisiä tietokoneohjelmia. Tutkija arvioi saamansa tutkimustulokset ja tekee niistä johtopäätökset: tukeeko hänen keräämänsä tieto tutkimusoletusta vai ei. Tutkija pyrkii myös saamaan tutkimuksensa esille jossakin tieteellisessä julkaisussa.

Ensimmäinen koe



Toinen koe

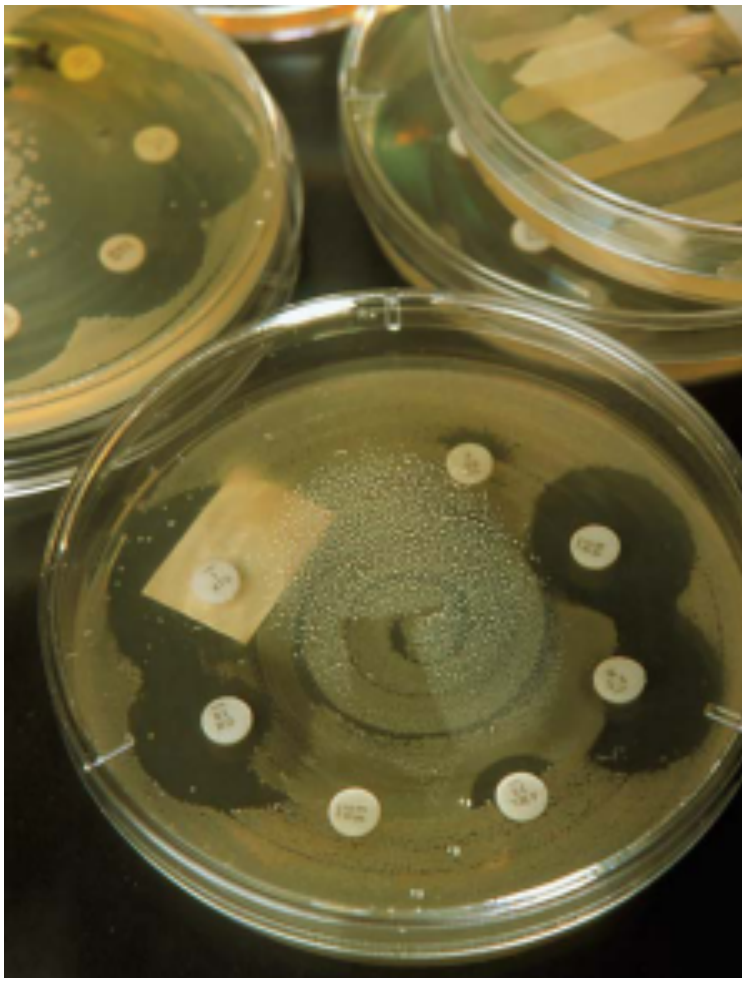


Alatalo, R. V. & Mappes, J 1996. Uudelleen piirretty Nature-lehden luvalla.

Tutkimustulosten analysoinnin jälkeen voidaan esittää johtopäätöksiä: Tiaisten saalistuskäyttäytymisen perusteella voitiin todeta, että huomiota herättävän näköinen eläin säilyy paremmin hengissä isossa ryhmässä. Myöhemmin, kun pedot ovat oppineet välttämään varoitusvärisiä saaliita, ryhmästä ei ole enää merkittävää hyötyä. Tutkimuksen lopputulos oli, että molemmat kilpailevat hypoteesit olivat oikeassa.

Jyväskyläläiset tutkijat pystyivät saamiensa tutkimustulosten perusteella päättelemään, että ryhmässä elämisestä on ollut hyötyä ensimmäisille varoitusvärisille yksilöille, kun signaali on pedoille uusi. Myöhemmin sama tai samantyyppinen signaali on auttanut myös ei-ryhmittyneitä yksilöitä. Varoitusvärit ovat eri lajeilla samantyyppisiä. Riittää, että jollekin lajille on ensin kehittynyt varoitusväri. Muut lajit ovat alkaneet matkia tätä lajia, ja pedot ovat vähitellen oppineet varomaan kaikkia huomiota herättäviä varoitusvärejä. Tutkimuksen johtopäätös oli, että molemmat kilpailevat hypoteesit ovat oikeassa.

Tutkimus ei kuitenkaan lopu johtopäätösten tekoon, vaikka tutkijan tekemä tutkimusoletus olisikin ollut oikea. Yleensä tutkijalle syntyy uusia kysymyksiä ja uusia oivalluksia. Saadut tutkimustulokset voivat joskus olla niin yllättäviä, että tutkijalta vaaditaan rohkeutta puolustaa niitä.



Bakteeriviljelmään on lisätty jotakin antibioottia sisältäviä kiekkoja. Antibiootin tuhoamat bakteeripesäkkeet näkyvät kuvassa kirkkaina alueina. Osa bakteeripesäkkeistä on kuitenkin säilynyt hengissä, eli ne ovat vastustuskykyisiä kyseiselle antibiootille.

Mihin tutkimus johtaa?

Usein ihmetellään, mitä hyötyä on siitä, että tunnetaan yhä enemmän eri hyönteislajeja tai että tunnetaan ihmisen kaikki geenit. Biologiassa tarvitaan tällaista perustutkimusta eli tiedon keräämistä ennestään tuntemattomista asioista. Esimerkiksi jyväskyläläisten tutkijoiden tekemä tutkimus ja sitä seuranneet vastaavantyyppiset tutkimukset ovat tuoneet uutta tietoa myrkyllisten lajien evoluutiosta ja eläinten käyttäytymisestä.

Ilman perustutkimusta ei voi tehdä soveltavaakaan tutkimusta eli tutkimusta, josta on jotakin suoraa hyötyä ihmisille. Perustutkimusta on esimerkiksi solun toiminnan tutkiminen. Soveltavaa tutkimusta on puolestaan se, kun solun toiminnan tutkimisesta saatujen tietojen pohjalta kehitellään jokin uusi, tehokkaampi lääke. Joskus tiedon sovelluskohteet voivat olla hyvinkin yllättäviä. Kukapa olisi voinut uskoa, että koivusta saatavaa ksylitolia voidaan käyttää makeuttajana ja että se vieläpä ehkäisee hampaiden reikiintymistä.

Joskus tärkeät biologiset keksinnöt ovat syntyneet sattumalta. 1920-luvulla Alexander Flemingin johtaman tutkimusryhmän bakteeriviljelmiin pääsi leviämään ilmassa leijuvia homeitiöitä. Bakteerit alkoivat kuolla homekasvustojen ympärillä, ja tutkijat ihmettelivät bakteerien kuoleman syytä. Asian tarkempi tutkiminen johti siihen, että homeesta saatiin eristettyä ainetta, jolle annettiin nimeksi penisilliini. Näin oli keksitty ensimmäinen antibiootti.

Lääketieteen Nobel-palkinnot 2000-luvulla

vuosi	palkinnon aihe
2007	Kantasolututkimus hiirillä
2006	Geenien ilmenemisen säätely
2005	Helikobakteerin aiheuttaman tulehduksen yhteys mahahaavaan
2004	Hajuaistin toiminta
2003	Magneettiresonanssikuvantaminen
2002	Elinten kehityksen ja ohjelmoituneen solukuoleman geneettinen säätely
2001	Solusyklin säätelytekijät
2000	Hermoimpulssin kulku hermostossa

Mihin biologiaa tarvitaan?

Biologia on mukana ihmisten jokapäiväisessä elämässä. Omasta terveydestä ja elinympäristöstä huolehtiminen perustuvat biologiaan, samoin kuin ravinnontuotanto ja metsätalous. Monet harrastukset, kuten lemmikkieläinten hoito, kalastus, lintujen tarkkailu ja luonnossa retkeily, liittyvät biologiaan. Ihmiset ovat myös kiinnostuneita tieteen kehityksestä ja sen uusimmista saavutuksista. Suomalaisille vuonna 2007 tehty kysely paljasti, että kaikista tieteenaloista ihmisiä kiinnostivat eniten lääketiede ja ympäristönsuojelu. Samassa kyselyssä kävi ilmi, että suomalaiset pitivät tärkeimpinä suomalaisina keksintöinä ksylitolia ja geenitutkimusta.

Tyypillisiä esimerkkejä ammateista, joissa tarvitaan biologian tietoja, ovat lääkärin, sairaanhoitajan, eläinlääkärin tai maanviljelijän ammatit. Koska biologinen tieto on lisääntynyt nopeasti viimeisimpien vuosikymmenien aikana, on biologiaan syntynyt uusia osa-alueita. Tämän myötä on syntynyt uusia opiskelualoja ja edelleen tätä kautta uusia ammatteja, joita ei ollut vielä olemassakaan parikymmentä vuotta sitten. Esimerkiksi bioinformaatikkoja tarvitaan molekyylibiologiassa syntyvän tiedon käsittelyyn, keräämiseen ja tulkintaan.

Tarranauhan keksi eräs sveitsiläinen mies vuonna 1948 nyppiessään koiransa turkista irti siihen tiukkaan tarttuneita takiaisia. Hän tutki takiaista mikroskoopilla ja huomasi, että sen pinta koostuu toistensa lomaan tunkeutuvista koukuista. Hän patentoi keksintönsä vuonna 1951, ja siitä on tullut maailmanlaajuinen myyntimenestys.

Biologian tuntemusta tarvitaan hyvin monella alalla.

TEHTÄVÄT

1. Käsitteiden määrittely

Yhdistä biologian eri alat oikeisiin määritelmiin.

1. oppi eliöiden ja niiden elollisen sekä elottoman ympäristön vuoro-vaikutussuhteista
2. tieteenala, joka tutkii muiden planeettojen mahdollista elämää
3. pieneliöitä tutkiva tieteenala
4. hermoston toimintaa tutkiva tieteenala
5. eläinten käyttäytymistä tutkiva biologian ala
6. molekyylitasolla solujen rakennetta, toimintaa ja säätelyä tutkiva biologian ala
7. tutkimusala, joka käsittelee biologian ja biokemian sovelluksia teollisuudessa
8. biologian ala, jossa suoritetaan geenien muuntamista ja siirtämistä

a. etologia
b. bioteknologia
c. molekyylibiologia
d. ekologia
e. geenitekniikka
f. mikrobiologia
g. astrobiologia
h. neurobiologia

2. Esimerkkejä käytännön biologiasta

Miten ihminen hyödyntää seuraavia biologian havaintoja ja tutkimustuloksia?

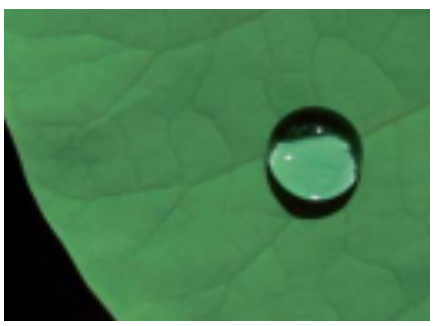
a. Monilla eläimillä on ympäristöön sopiva suojaväri.
b. Vedessä pystyy liikkumaan parhaiten, kun on muodoltaan virtaviivainen.
c. Jokaisella ihmisellä on erilainen DNA.
d. Monet pieneliöt pystyvät hajottamaan jätteitä.
e. Ksylitoli vähentää hampaiden reikiintymistä.
f. Lepakot ja monet vesieläimet käyttävät suunnistaessaan apuna kaikuluotausta.

3. Tutkimussuunnitelman laatiminen

Joku on esittänyt, että lehmät lypsävät enemmän maitoa, jos niille soitetaan musiikkia. Miten tutkisit tätä oletusta?

4. Luonnosta uusia keksintöjä

Biomimetiikka tarkoittaa soveltavaa tieteenalaa, jossa luonnon rakenteita matkimalla saadaan uusia keksintöjä ihmisen käyttöön.
Mihin tarkoituksiin ihminen voisi hyödyntää kuvien A–C esittämiä ilmiöitä?



A

Monien kasvien lehden pintaa peittävät mikrokooppisen pienet nystyt, jotka saavat aikaan sen, että vesipisara jää pyöreäksi ja valuu pois kasvin lehdeltä. Lisäksi vesipisara kerää pois kieriessään mukaansa likaa.

B

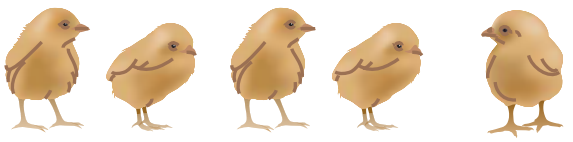
Gekkoliskojen ja monien hyönteisten hyvä kiipeilykyky johtuu niiden jaloissa olevista mikroskooppisen pienistä karvoista. Tarttumisvoima on niin suuri, että se riittää vaikka pitämään gekkoliskon katossa roikkumassa pää alaspäin. Kuvassa gekkoliskon varpaiden alapintaa.

C

Ryhävalaiden rintaevien etureuna on kuhmurainen. Kuhmuraisuus vähentää veden vastusta ja lisää nostetta valaan uidessa sukelluksissa.

5. Beriberi-taudin syyn selvittäminen

Vuonna 1897 salaperäinen hermostosairaus vaivasi ihmisiä Saksan omistamassa Itä-Intiassa. Taudin nimi oli beriberi. Sairastuneet eivät pystyneet syömään mitään, ja he halvaantuivat. Tutkijat olettivat, että taudin aiheutti jokin bakteeri. He ruiskuttivat kananpoikiin bakteereja, jotka oli eristetty tautiin sairastuneiden ihmisten verestä. Kananpojat tulivat sairaiksi. Kuitenkin myös osa sellaisista kananpojista sairastui, joihin ei ruiskutettu bakteereja.



Eräs tutkijoista, tohtori Eijkman, huomasi, että ennen kokeen alkua kaikki kananpojat olivat syöneet täysjyväriisiä, mutta kokeen aikana ne söivät puhdistettua riisiä. Kun tohtori Eijkman tutki asiaa, hän huomasi, että puhdistetusta riisistä puuttui tiamiini-niminen, B-vitamiinien ryhmään kuuluva vitamiini, joka on terveydelle välttämätöntä.

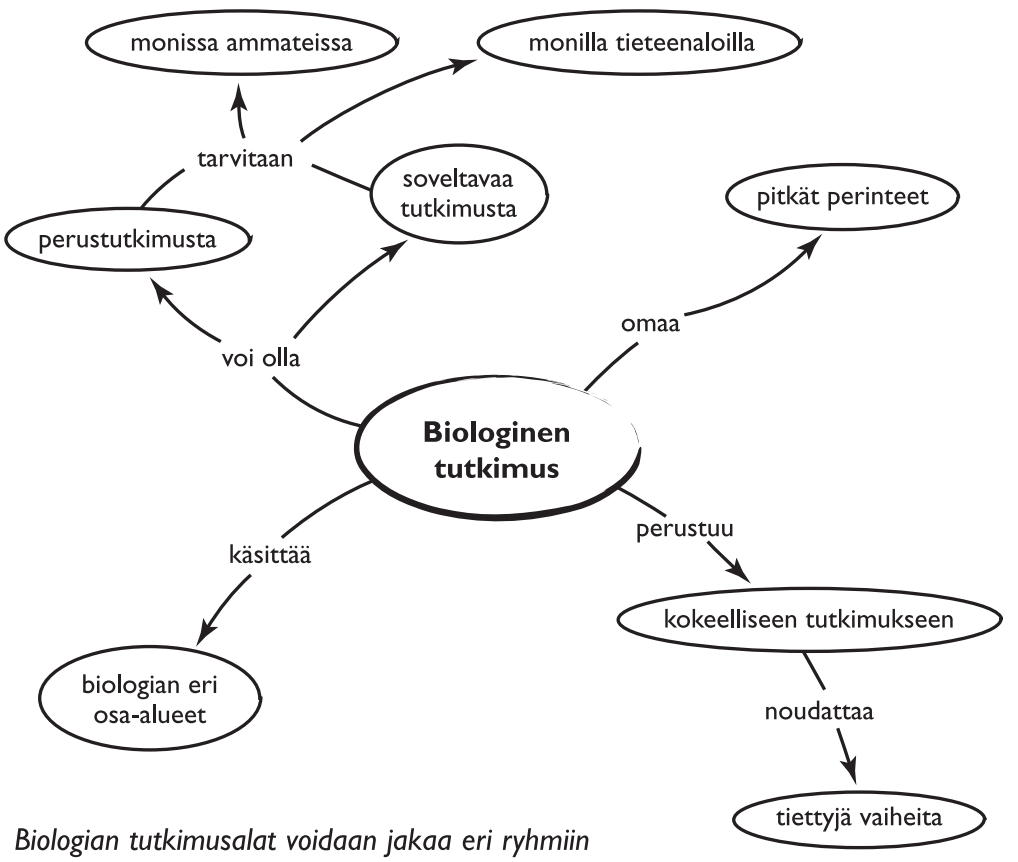
a. Mikä oli tutkimusongelma?
b. Mikä oli tutkijoiden hypoteesi?
c. Kuinka hypoteesia testattiin?
d. Pitikö hypoteesi paikkansa?
e. Millainen uuden hypoteesin pitäisi olla?

6. Jyväskyläläinen tutkimus

Lue tutkimuksen tekoa käsittelevä kappale (s. 23–27) ja vastaa seuraaviin kysymyksiin.

a. Mihin ongelmaan jyväskyläläiset tutkijat etsivät vastausta?
b. Miksi he eivät käyttäneet tutkimuksessaan jotakin luonnossa esiintyvää varoitusväriä tai symbolia pahanmakuisissa olkitikuissa, esimerkiksi musta-keltaista väriyhdistelmää?
c. Miksi tutkijat laittoivat olkitikkuja sekä yksittäin että ryhmiin?
d. Mihin johtopäätökseen tutkijat tulivat ensimmäisen kokeen jälkeen?
e. Miksi tutkijat tekivät vielä toisen kokeen, jossa kaikki saaliit olivat hyvänmakuisia mantelilastuja?
f. Mihin johtopäätökseen tutkijat tulivat toisen kokeen perusteella?

Yhteenveto



Biologian tutkimusalat voidaan jakaa eri ryhmiin sen mukaan, mitä eliöryhmää tai mitä elämään liittyvää ilmiötä tutkitaan.

Avainsanat

biologia
hypoteesi
luonnontieteellinen tutkimus
perustutkimus
soveltava tutkimus

3.

Eliömaailman luokittelu jäsentää elämän monimuotoisuutta

1970-luvulla löydettiin merien syvänteistä kuvassa näkyviä parimetrisiä putkimatoja. Ne edustivat aivan uudenlaista elämänmuotoa, jota ei osattu luokitella mitenkään. Saadakseen selville, mitkä olivat tämän uuden lajin lähisukulaisia, tutkijat tekivät koeputkihedelmöityksiä putkimatojen sukusoluilla ja vertasivat syntyneitä alkioita muiden lajien alkioihin.

Eliömaailman luokittelujärjestelmässä on monta tasoa

Ihmisillä on aina ollut taipumus luokitella eri asioita. Esimerkiksi Filippiinien syrjäisellä sademetsäalueella asuu alkuperäiskansa, joka on nimennyt ainakin 500 kasvia, noin sata lintua, useita nisäkkäitä, käärmeitä ja hyönteisiä sekä noin 50 sientä, jotka esiintyvät heidän asuinalueellaan. He osaavat erottaa eri lajit toisistaan ja kuvailla niiden tyypillisiä piirteitä. Paikalle saapunut tutkija päätyi luokittelussa samaan lopputulokseen. Kaikilla alkuperäiskansoilla eliöiden luokittelu on liittynyt eliöiden merkitykseen ihmisen kannalta: ovatko ne esimerkiksi olleet myrkyllisiä tai syötäviä.

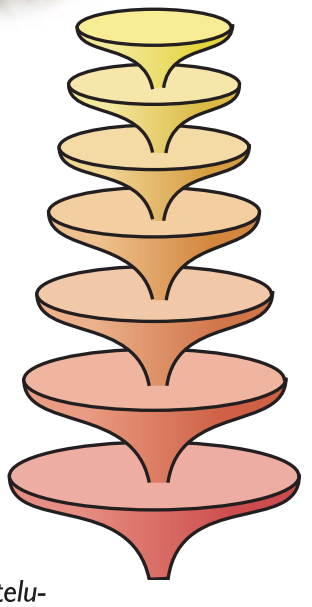
Ruotsalaisen Carl von Linnén 1700-luvulla kehittämä eliöiden tieteellinen luokittelujärjestelmä on hierarkkinen. Se koostuu eritasoisista luokitteluyksiköistä, joista laajin on kunta ja suppein laji. Samaan lajiin kuuluvat ne yksilöt, jotka pystyvät lisääntymään keskenään ja joiden jälkeläiset ovat lisääntymiskykyisiä.

Ne lajit, joilla on runsaasti samankaltaisia ominaisuuksia, kuuluvat samaan sukuun. Samankaltaiset suvut kuuluvat samaan heimoon, ja samoja ominaisuuksia omaavat heimot kuuluvat samaan lahkoon. Lahkot yhdistyvät luokiksi ja eläimillä luokat muodostavat pääjaksoja, kun taas kasveilla ja sienillä luokat muodostavat kaaria. Ylin luokittelutaso kaikilla eliöillä on kunta. Käsitys eliökunnan luokituksesta eri kuntiin on vaihdellut ajan kuluessa. 1900-luvun alkuun saakka eliöt jaettiin vain kahteen kuntaan: kasveihin ja eläimiin. Biologisen tiedon lisääntyessä eliöt jaettiin ensin neljään, sitten viiteen ja nykyisin kuuteen kuntaan.

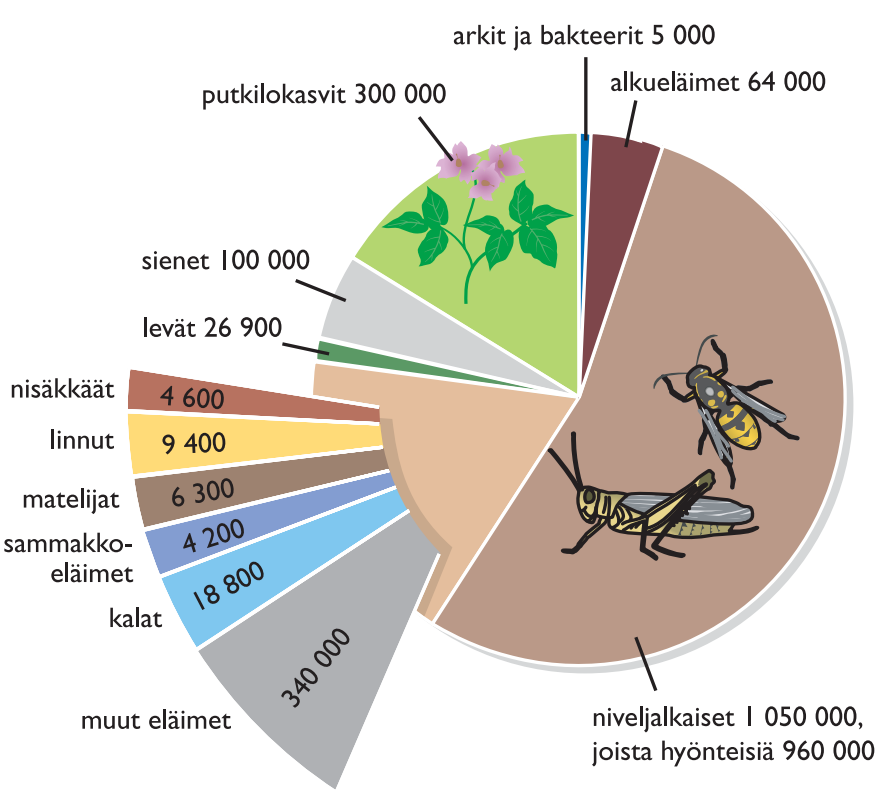
Luokittelun tieteellisenä kielenä käytetään latinaa. Eri kansallisuuksia edustavien tutkijoiden on tällöin helppo ymmärtää toisiaan, koska he käyttävät samoja nimiä. Jokaisella lajilla on kaksiosainen tieteellinen nimi. Esimerkiksi ihmisen tieteellinen nimi on *Homo sapiens*, suden *Canis lupus* ja kuusen *Picea abies*. Tieteellisen nimen ensimmäinen osa kertoo sen, mihin suurempaan ryhmään eli sukuun laji kuuluu. Jälkimmäinen osa tieteellisestä nimestä määrittää lajin omaksi itsenäiseksi yksikökseen.

Mitä hyötyä on siitä, että kaikki eliömaailman lajit tunnetaan ja luokitellaan? Luonto ei itse tarvitse mitään luokittelujärjestelmää. Tieteellisen tutkimuksen ja luonnonvarojen hyödyntämisen kannalta jäsentynyt tieto eliömaailmasta on kuitenkin tarpeen. Esimerkiksi maatalous hyötyy monella tavalla siitä, että eliölajeja luokitellaan, uusia eliölajeja löydetään ja niiden sukulaisuussuhteita selvitetään. Biologisen tutkimuksen peruslähtökohtana on eliömaailman tuntemus. Jos tutkija ei pysty määrittämään tutkimuskohteena olevia eliöitä, ei tutkimuksen tuloksiakaan voida pitää luotettavina eikä niistä voi tehdä yleistyksiä. On todettu, että ihmisen toiminta vähentää valtavalla vauhdilla eliölajien lukumäärää. Miten luonnon monimuotoisuutta voidaan suojella, jos maapallon eliölajeja ei edes tunneta?

Taksonomia on biologian osa-alue, jossa perehdytään eliöiden kuvaamiseen, nimeämiseen ja luokitteluun. Systematiikassa keskitytään eliöiden ryhmittelyyn niiden sukulaissuhteiden mukaan. Tällä hetkellä tunnetaan noin 1,7 miljoonaa lajia, mutta niitä arvioidaan olevan moninkertaisesti enemmän.



Eliöiden tieteellisessä luokittelujärjestelmässä on seitsemän tasoa.

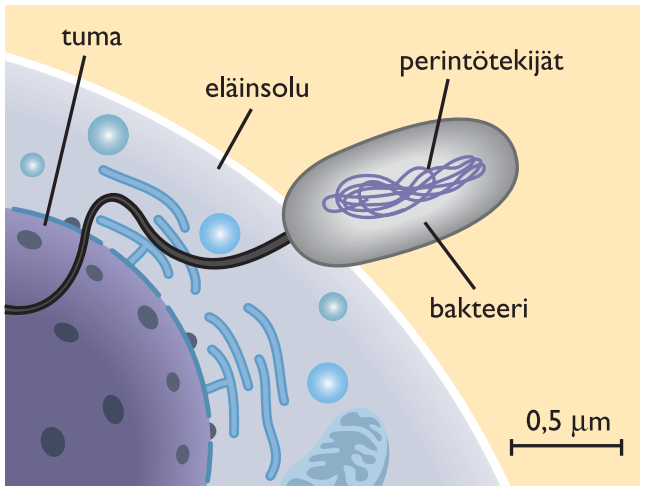


Kuvassa on esitetty useimpien tällä hetkellä tunnettujen eliöryhmien lajimäärät. Eliömaailman valtiaita ovat niveljalkaiset, erityisesti hyönteiset. Huonoimmin tunnettuja eliöryhmiä ovat bakteerit ja arkit. Arvioidaan, että niiden lajimäärä voi olla jopa 4 miljoonaa. Maailman kaikkien eliölajien lajimääräksi on esitetty jopa 100 miljoonaa.

Eliömaailma voidaan jakaa kuuteen kuntaan

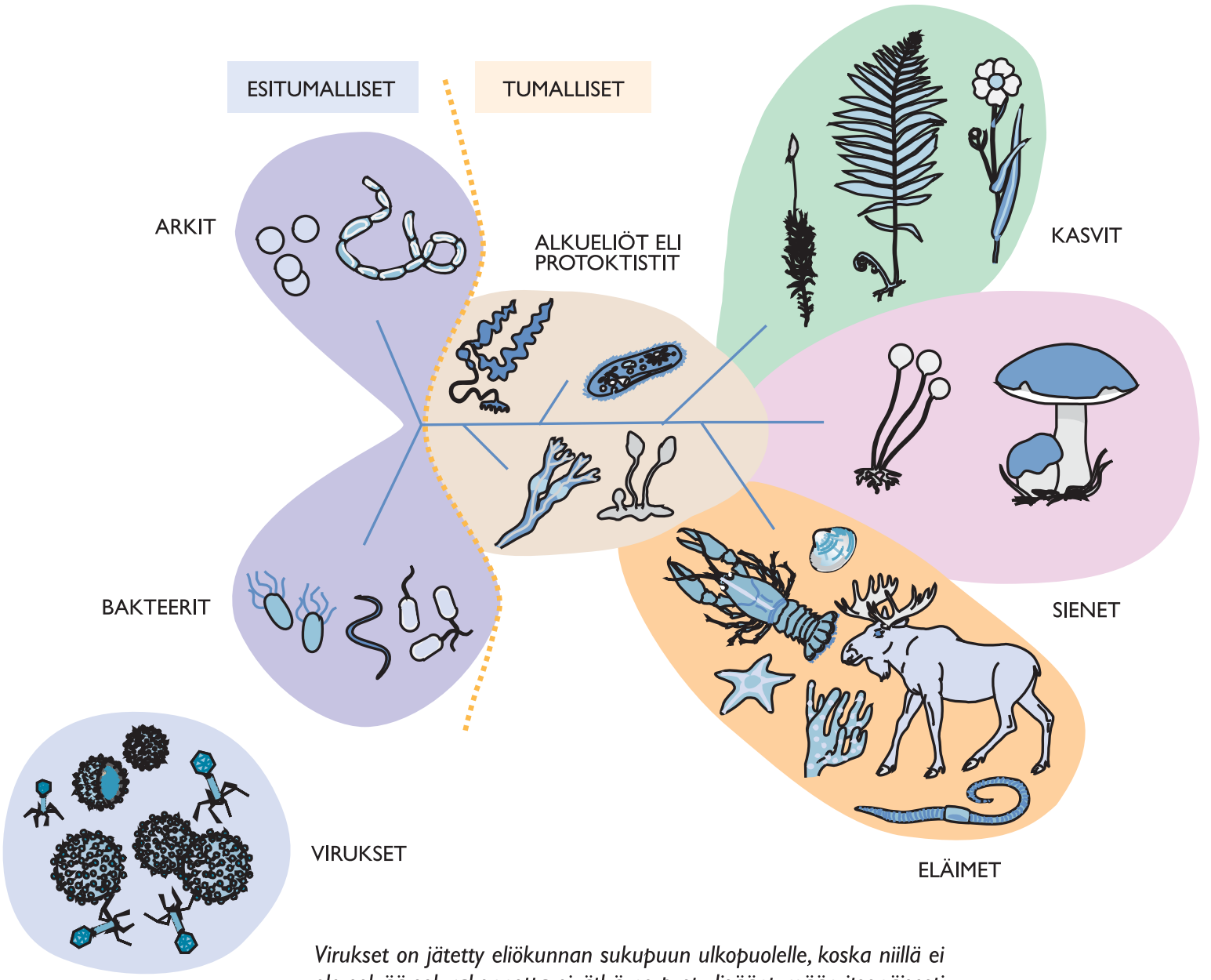
Eliöt jaetaan solurakenteensa perusteella kahteen ryhmään. Näitä ryhmiä ovat esitumalliset ja tumalliset eliöt. Esitumallisista eliöistä käytetään myös nimitystä alkeiseliöt, ja ne jaetaan kahteen kuntaan: arkit ja bakteerit. Tumalliset eliöt jaetaan puolestaan neljään kuntaan, jotka ovat alkueliöt, kasvit, sienet ja eläimet.

Esitumalliset eliöt ovat yksisoluisia, ja niiden perintöaines sijaitsee solulimassa. Niiden solut ovat kooltaan hyvin pieniä ja soluissa on vähän erilaisia soluelimiä. Esitumalliset eliöt lisääntyvät jakautumalla, mikä on suvutonta lisääntymistä.



Esitumallinen ja tumallinen solu poikkeavat toisistaan monella tavalla. Tumallisten eliöiden solujen koko on paljon suurempi kuin esitumallisilla eliöillä, soluissa on useita erilaisia soluelimiä ja solun perintötekijät ovat tumassa tumakotelon sisällä.

Eliömaailman kuusiosainen sukupuu

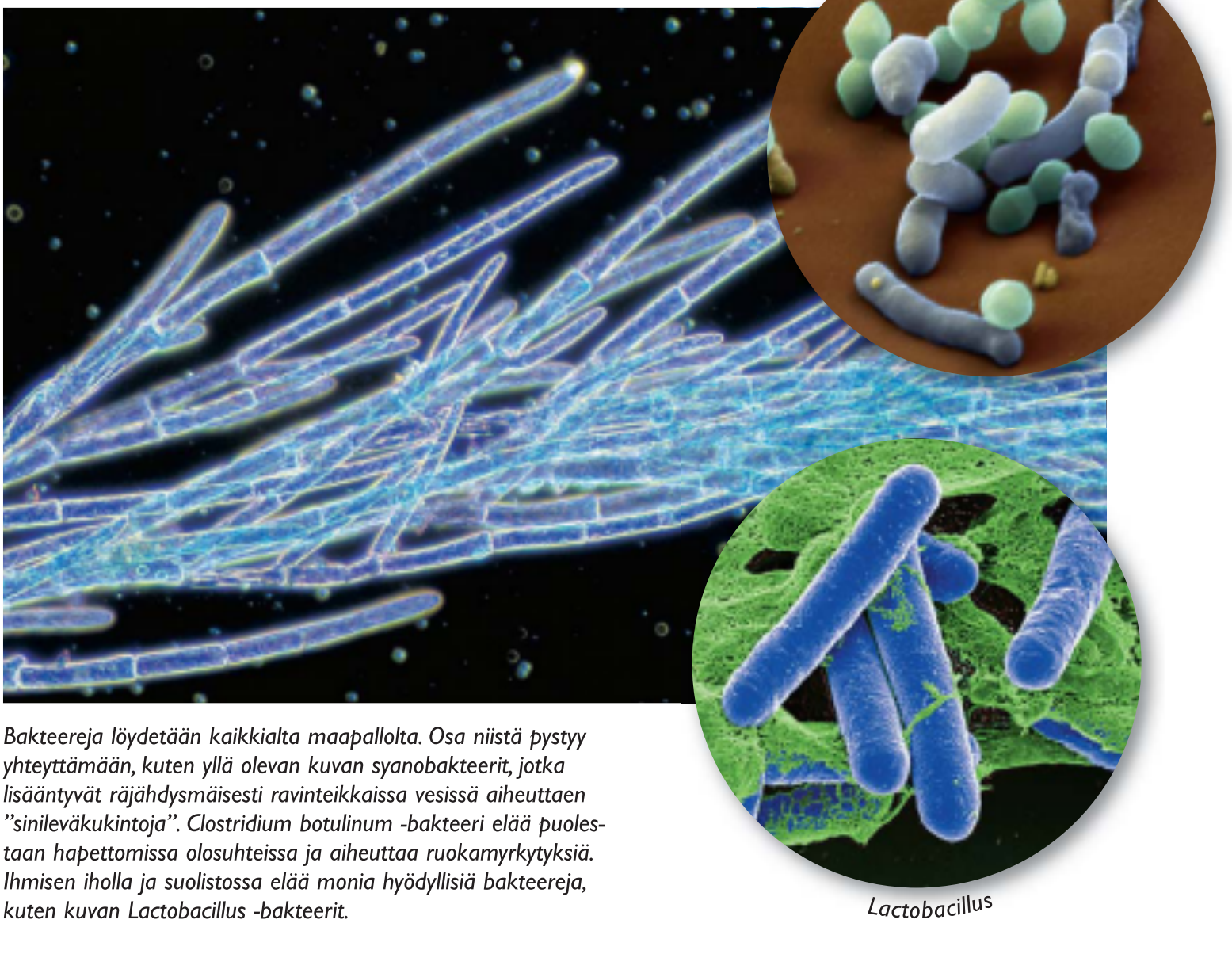


Virukset on jätetty eliökunnan sukupuun ulkopuolelle, koska niillä ei ole selvää solurakennetta eivätkä ne pysty lisääntymään itsenäisesti.

Arkit ja bakteerit ovat eliömaailman vanhimmat kunnat

Kun elämä syntyi maapallolla, ensimmäiset eliöt olivat esitumallisia eliöitä: arkkeja ja bakteereja. Arkit muistuttavat rakenteeltaan ja toiminnaltaan enemmän tumallisia eliöitä kuin bakteereja. Arvellaankin, että tumallisilla eliöillä ja arkeilla on ollut yhteinen kantamuoto. Arkkeja voidaan kuvata todellisiksi selviytyjiksi, koska ne pystyvät elämään hyvin äärimmäisissä olosuhteissa.

Toinen esitumallisten kunta, bakteerit, on hyvin monimuotoinen ryhmä ja niillä on useita eri tehtäviä ekosysteemeissä. Syanobakteerit, joita kutsutaan yleisesti sinileviksi, pystyvät yhteyttämään, koska niillä on solulimassaan lehtivihreää, joka pystyy sitomaan auringon valoenergiaa. Bakteerit toimivat luonnossa usein hajottajina, joten niillä on suuri merkitys aineiden kiertokulun toiminnalle ekosysteemeissä. Maaperän typensitojabakteerit pystyvät sitomaan ilmasta typpeä kasveille sopivaan muotoon. Jotkut bakteerit, kuten esimerkiksi ihmisen suolistobakteerit, elävät molempia osapuolia hyödyttävässä suhteessa jonkun toisen eliön kanssa. Useat bakteerit ovat kuitenkin taudinaiheuttajia tai loisia. Osa bakteereista pystyy selviämään hengissä epäedullisissa olosuhteissa muuttumalla lepoitiöiksi, jolloin niiden elintoiminnot ovat minimissään. Lepoitiöt voivat säilyä vuosikymmeniä ja aloittaa kasvun uudelleen sopivissa olosuhteissa. Sekä arkkien että bakteerien joukossa on oma- ja toisenvaraisia lajeja, samoin kuin happea vaativia ja hapettomassa ympäristössä eläviä lajeja.



Clostridium botulinum

Lactobacillus

Bakteereja löydetään kaikkialta maapallolta. Osa niistä pystyy yhteyttämään, kuten yllä olevan kuvan syanobakteerit, jotka lisääntyvät räjähdysmäisesti ravinteikkaissa vesissä aiheuttaen ”sinileväkukintoja”. Clostridium botulinum -bakteeri elää puolestaan hapettomissa olosuhteissa ja aiheuttaa ruokamyrkytyksiä. Ihmisen iholla ja suolistossa elää monia hyödyllisiä bakteereja, kuten kuvan Lactobacillus -bakteerit.

Alkueliöihin kuuluu hyvin monenlaisia eliöitä

Tumallisiin eliöihin kuuluvaa alkueliöiden kuntaa on usein luonnehdittu siten, että siihen kuuluvat kaikki ne eliöt, jotka eivät ole esitumallisia, kasveja, varsinaisia sieniä tai eläimiä. Nimenomaan tämän kunnan luokitus muuntuu koko ajan. Alkueliöihin kuuluu sekä yksi- että monisoluisia eliöitä, joista osa on omavaraisia ja osa toisenvaraisia. Kaikki alkueliöt ovat kosteiden elinympäristöjen eliöitä.

Toisenvaraisia alkueliöitä ovat mm. malarialoisiot ja limasienet.

Omavaraisiin alkueliöihin kuuluvat yksi- ja monisoluiset levät. Ne yhteyttävät ja ovat siksi hyvin tärkeitä tuottajia vesistöjen ravintoketjuissa. Aikoinaan kasvit kehittyivät juuri viherlevistä. Monisoluisista levistä ei voida erottaa kasvin osia - juuria, varsia ja lehtiä - ja siksi niitä kutsutaan sekovartisiksi. Levien soluseinän rakenne, ravinteiden ja veden kuljetusjärjestelmä sekä yhteyttämisväriaineet ja -tuotteet ovat erilaiset kuin kasveilla, minkä vuoksi monisoluistenkaan levien ei katsota kuuluvan kasveihin. Levien solut eivät ole varsinaisesti erikoistuneet eri tehtäviin, vaan niiden solut ovat liittyneet yhteen soluryhmiksi muodostaen jopa sata metriä pitkiä yksilöitä. Toisenvaraisiin alkueliöihin kuuluvat alkueläimet ja monisoluiset limasienet. Alkueläimiä ovat esimerkiksi tohvelieläin ja ameba. Monet alkueläimet, kuten malarialoisio ja unitautiloisio ovat taudinaiheuttajia.

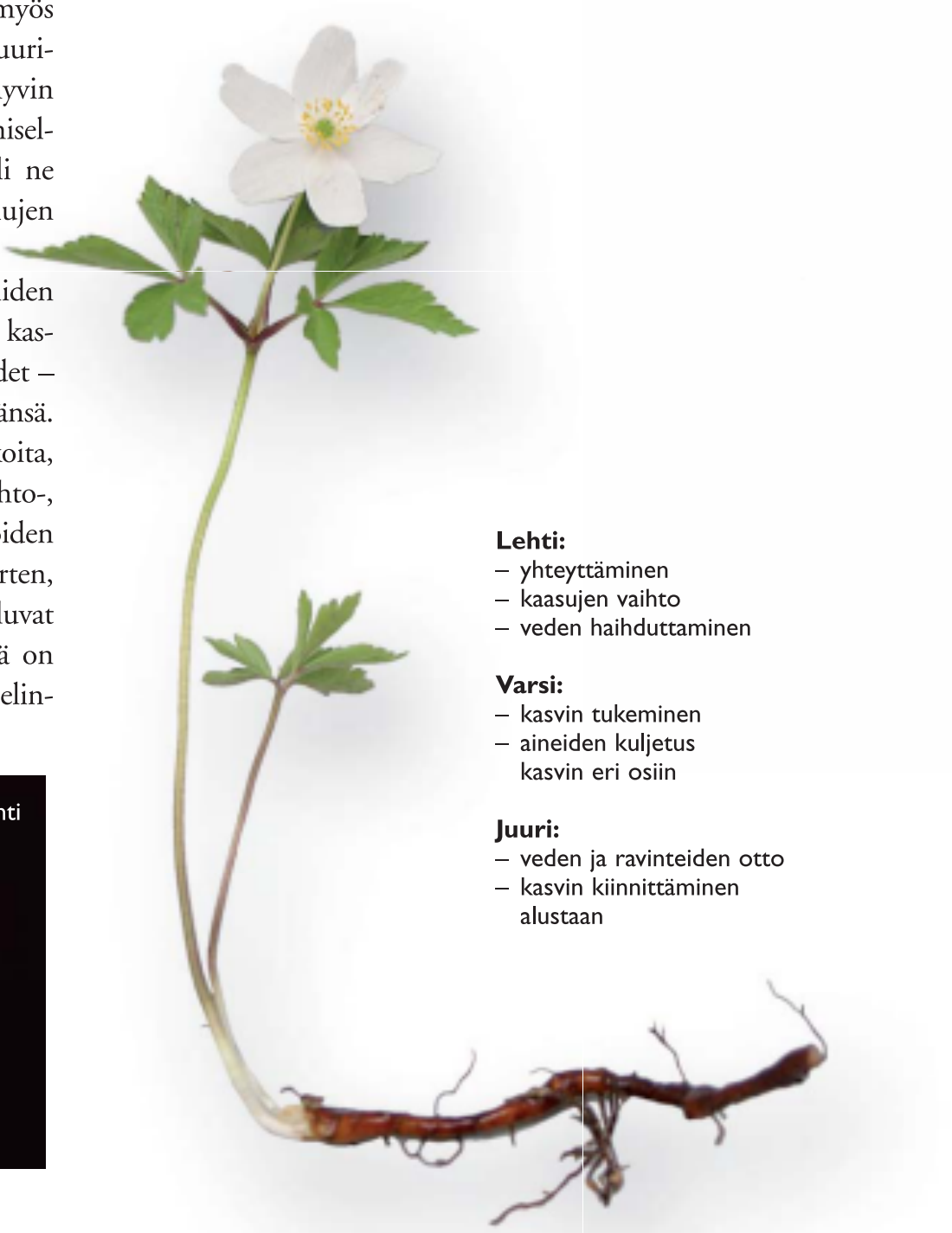
Omavaraisia alkueliöitä ovat vesistöissä elävät yksi- ja monisoluiset viher-, rusko- ja punalevät. Ruskolevät voivat kasvaa metrien pituisiksi.

Kasvit pystyvät yhteyttämään

Kasvikuntaan kuuluvat sammalet, sanikkaiset ja siemenkasvit. Siemenkasvit jaetaan vielä kahteen ryhmään: paljassiemenisiin, joita ovat esimerkiksi mänty ja kuusi, sekä koppisiemenisiin, joita ovat esimerkiksi koivu, juolavehnä ja voikukka. Siemenkasvit lisääntyvät pääasiassa suvullisesti, mutta myös suvuton lisääntyminen esimerkiksi rönsyjen, juurimukuloiden ja pistokkaiden avulla on niille hyvin tavallista. Sammalien ja sanikkaisten lisääntymiselle on tyypillistä selkeä sukupolvenvuorottelu eli ne lisääntyvät vuorotellen suvuttomasti ja sukusolujen avulla suvullisesti.

Kasvien solujen välillä vallitsee työnjako, eli niiden solut ovat erikoistuneet eri tehtäviin. Useimmissa kasveissa voidaan kasvin eri osat – juuri, varsi ja lehdet – erottaa selvästi, ja niillä kullakin on erilaiset tehtävänsä. Keskenään samanlaiset solut muodostavat solukoita, joita on yleensä kuudentyyppisiä: kasvu-, tuki-, johto-, pinta-, erite- ja perussolukkoja. Niitä kasveja, joiden sisällä on johtosolukko aineiden kuljetusta varten, kutsutaan putkilokasveiksi. Putkilokasveihin kuuluvat sanikkaiset ja siemenkasvit. Kasvisolun soluseinä on muodostunut pääosin selluloosasta ja kasvisolun elintoimintoja säätelevät pääasiassa kasvihormonit. Kasvit ovat yleensä omavaraisia, ja niiden yhteyttämisreaktiot tapahtuvat solujen viherhiukkasissa. Erilaisia kasvilajeja tunnetaan tällä hetkellä noin 300 000.

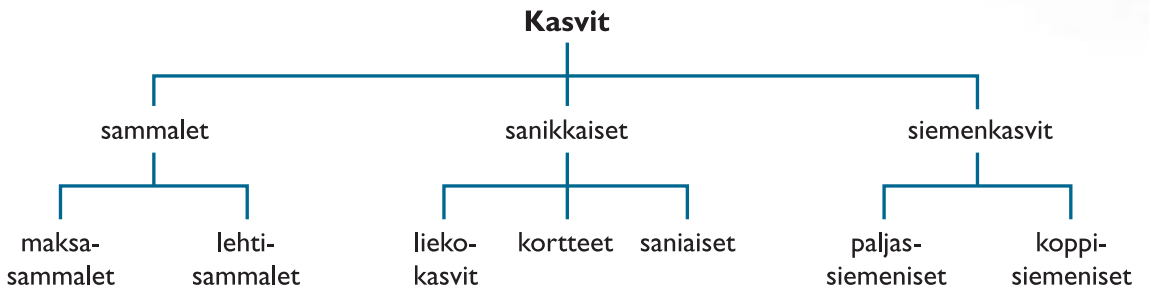
Kukan osia ovat verholehdet, terälehdet, naaraspuolinen lisääntymiselin emi ja siitepölyä tuottavat koiraspuoliset heteet.



Lehti:
– yhteyttäminen
– kaasujen vaihto
– veden haihduttaminen

Varsi:
– kasvin tukeminen
– aineiden kuljetus kasvin eri osiin

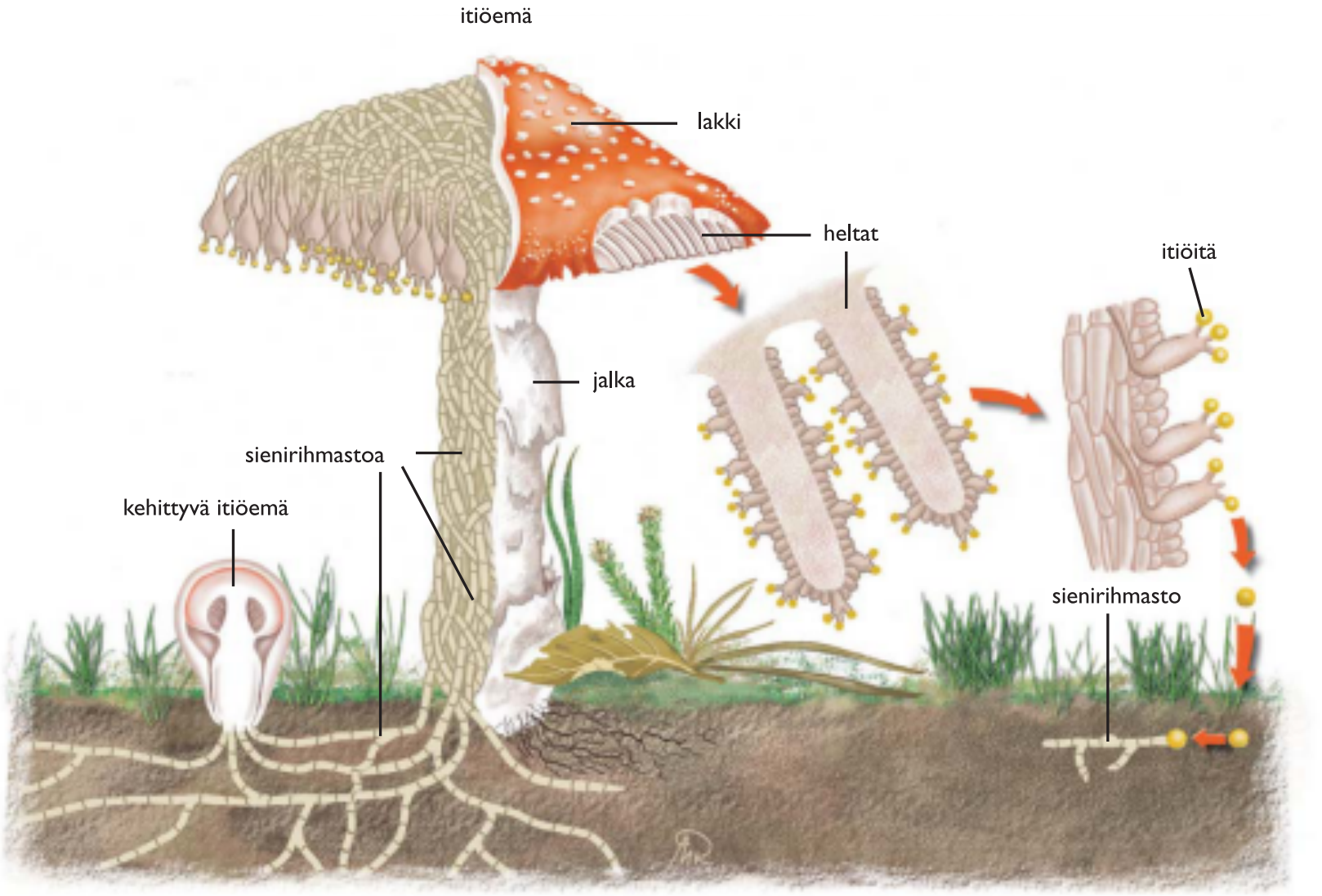
Juuri:
– veden ja ravinteiden otto
– kasvin kiinnittäminen alustaan



Sienet hankkivat ravintonsa rihmastollaan

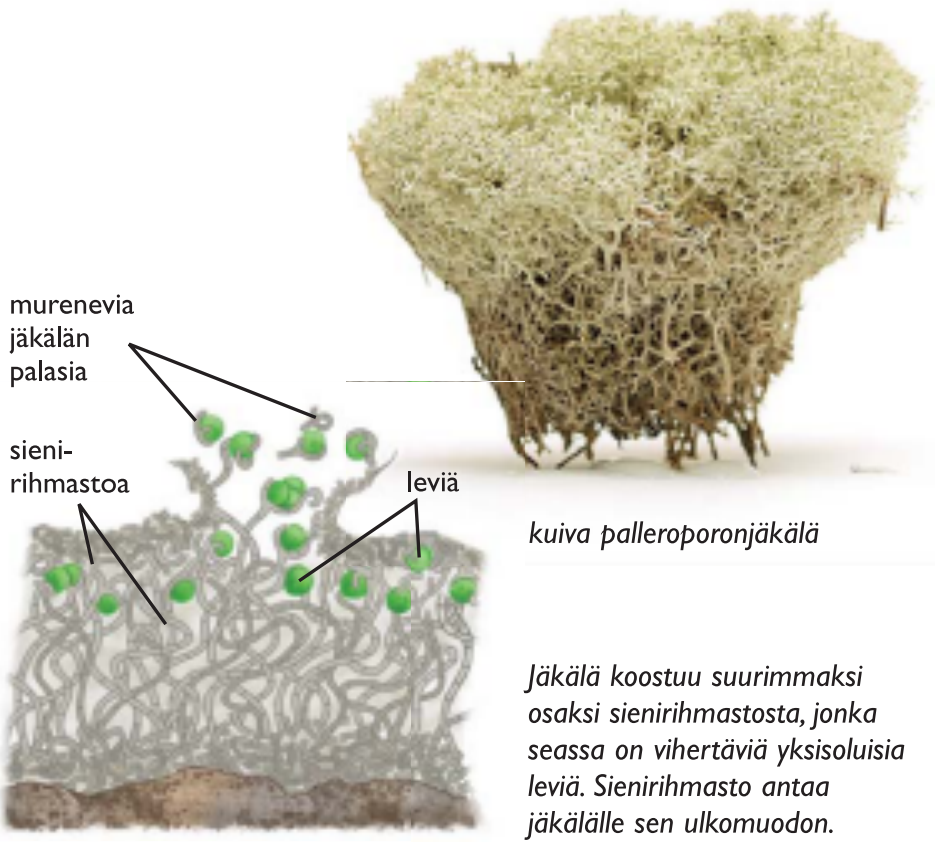
Sienisolujen soluseinä on tavallisesti kitiiniä eikä selluloosaa kuten kasveilla. Energiaa varastoivat aineet ovat sienten soluissa samoja sokeriyhdisteitä kuin eläinsoluissa. Sienien soluista puuttuvat viherhiukkaset, ja siksi sienet ovatkin toisenvaraisia eliöitä. Suurin osa sienistä on mikrosieniä, jotka eivät yksittäin erotu paljaalla silmällä. Näihin mikrosieniin kuuluvat muun muassa homeet ja hiivat. Sieni koostuu mikroskooppisen ohuista rihmoista eli sienirihmastosta. Sienirihmasto voi suotuisissa oloissa tuottaa itiöemän, mitä yleiskielessä kutsutaan sieneksi. Sienet lisääntyvät suvuttomasti itiöiden avulla. Sieniä tunnetaan noin 100 000 eri lajia. Sienet saavat ravintonsa joko hajottamalla kuolleita eliöitä, loisimalla tai elämällä mutualistisessa eli molempia osapuolia hyödyttävässä suhteessa jonkin toisen eliön kanssa. Esimerkiksi suomalaiset havupuut elävät tällaisessa suhteessa yhden tai useamman sienilajin kanssa.

Keltavahvero eli kantarelli elää mutualistisessa suhteessa koivun kanssa. Sienirihmasto antaa koivulle vettä ja ravinteita ja saa siltä sokeria.



Sienen itiöemästä voidaan erottaa jalka ja lakki. Lakin alapinnalla heltoissa tai pilleissä syntyy itiöitä. Kun itiöt pääsevät maahan, niistä kasvaa uutta sienirihmastoa. Sienet voivat lisääntyä myös suvullisesti sienirihmaston avulla. Kun vastakkaista sukupuolta olevat rihmastot kohtaavat, niiden soluissa olevien tumien yhdistyessä syntyy uusia itiöemiä.

Jotkin sienet elävät mutualistisessa suhteessa jonkin levän (yleisimmin viherlevän) kanssa. Tällaista sienen ja levän yhteiselämää kutsutaan jäkäläksi. Suurin osa jäkälästä on sienirihmastoa, jonka tehtävänä on veden ja ravinteiden otto. Jäkälän leväosakas valmistaa molemmille sokeria yhteyttämällä. Jäkälät menestyvät hyvinkin karuilla kasvupaikoilla ja ankarissa ilmasto-oloissa. Koska jäkälät ottavat useimmat tarvitsemansa aineet suoraan ilmasta, ne ovat herkkiä ilmansaasteille.



kuiva palleroporonjäkälä

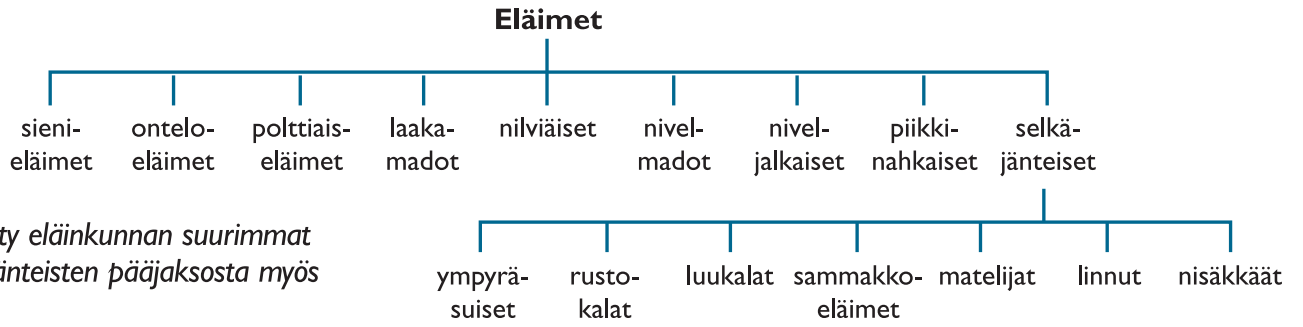
Jäkälä koostuu suurimmaksi osaksi sienirihmastosta, jonka seassa on vihertäviä yksisoluisia leviä. Sienirihmasto antaa jäkälälle sen ulkomuodon.

Kelta- ja harmaakarvetta sekä rupijäkäliä kiven pinnalla.

Sienikuntaan kuuluvat myös hiivat, homeet sekä monet kasvi- ja eläintautien aiheuttajat, kuten alimman kuvan saranoki (Anthracoidea heterospora).

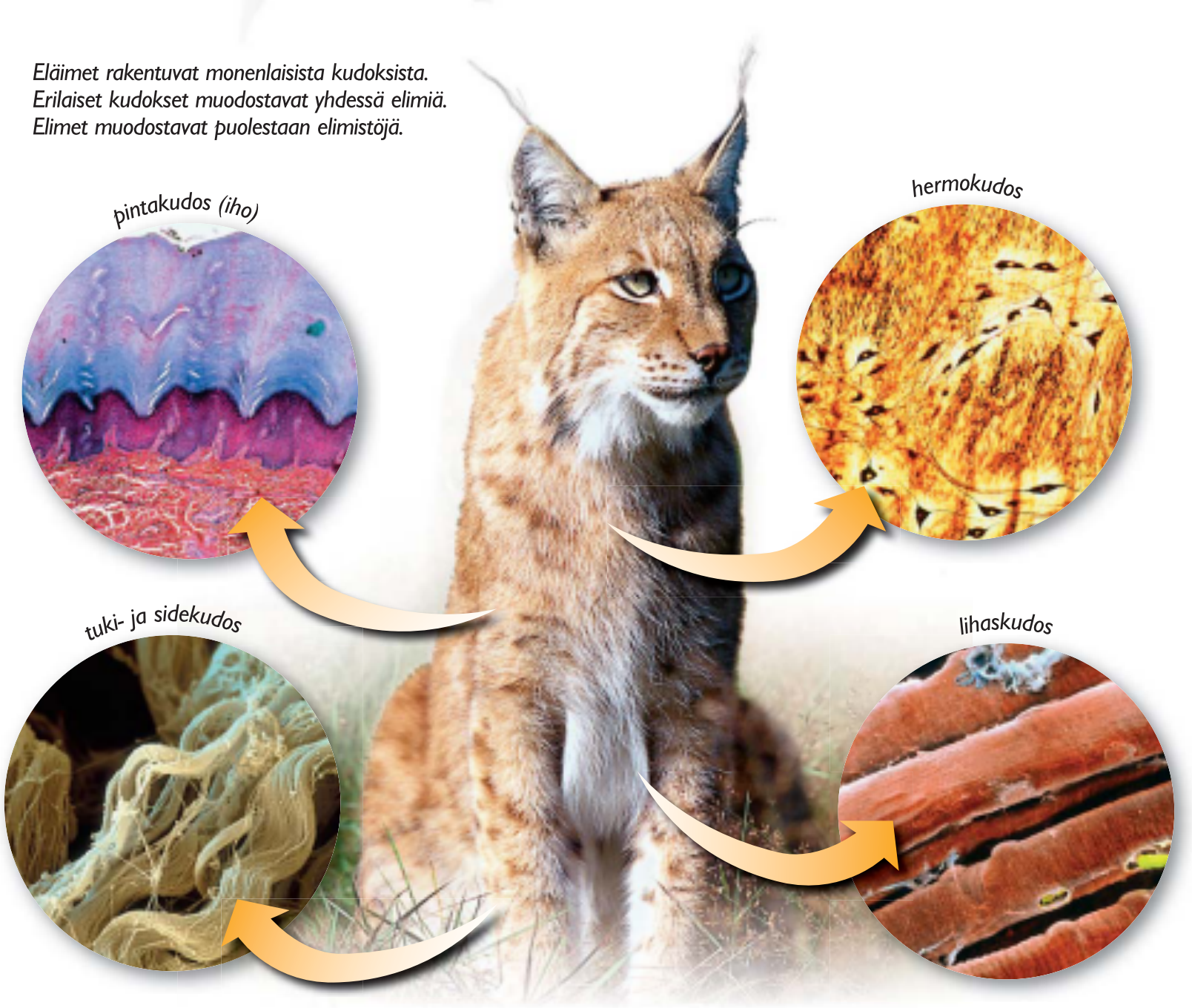
Eläimet ovat toisenvaraisia

Eläinlajeja tunnetaan tällä hetkellä noin 1,4 miljoonaa, ja ne luokitellaan yleensä ainakin 30 eri pääjaksoon. Eläimet ovat toisenvaraisia eli ne eivät voi yhteyttää kuten kasvit, eikä eläinsoluilla ole soluseinää kuten kasvisoluilla on. Rakenteeltaan samanlaiset ja samaan tehtävään erikoistuneet eläinsolut muodostavat kudoksia. Kudosten pääryhmiä ovat tuki-, lihas-, hermo- ja pintakudos. Eläinten elintoimintoja säätelee hormonien lisäksi hermosto. Ympäristöstään eläimet saavat tietoja erilaisten aistien välityksellä. Kaikki eläimet lisääntyvät suvullisesti, mutta joillakin eläinryhmillä, kuten meduusalla, voi olla elämänsä aikana myös suvuttoman lisääntymisen vaiheita.



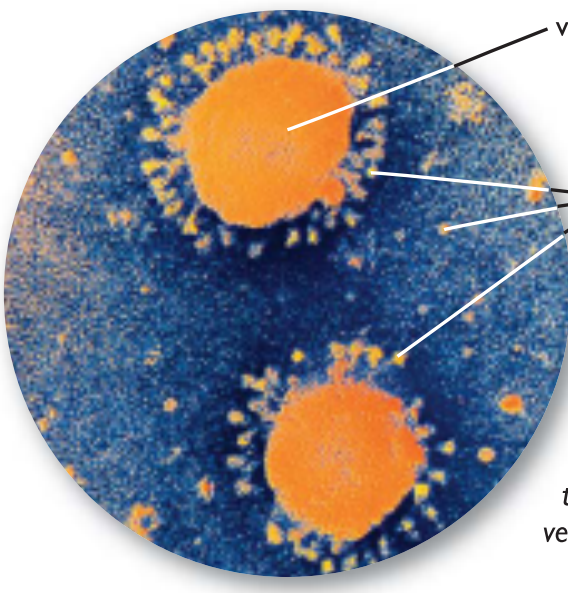
Kaaviossa on esitetty eläinkunnan suurimmat pääjaksot ja selkäjänteisten pääjaksosta myös luokat.

Eläimet rakentuvat monenlaisista kudoksista. Erilaiset kudokset muodostavat yhdessä elimiä. Elimet muodostavat puolestaan elimistöjä.



Virukset ovat luokittelun ulkopuolella

Virukset ovat kooltaan paljon pienempiä kuin bakteerit. Virusten sisällä on perintötekijöitä eli geenejä, ja viruksissa on samoja kemiallisia yhdisteitä kuin varsinaisissa eliöissä. Viruksia ei kuitenkaan yleensä pidetä varsinaisina eliöinä, koska niillä ei ole solurakennetta eikä omaa aineenvaihduntaa. Useimmat virukset aiheuttavat isännälleen tauteja, kuten AIDS:ia, influenssaa ja vesikauhua. Virusten pitää päästä elävän solun sisälle, jolloin ne valjastavat solun lisääntymismekanismin omaan lisääntymiseensä.



Koronaviruksia tunkeutumassa veren valkosoluihin.

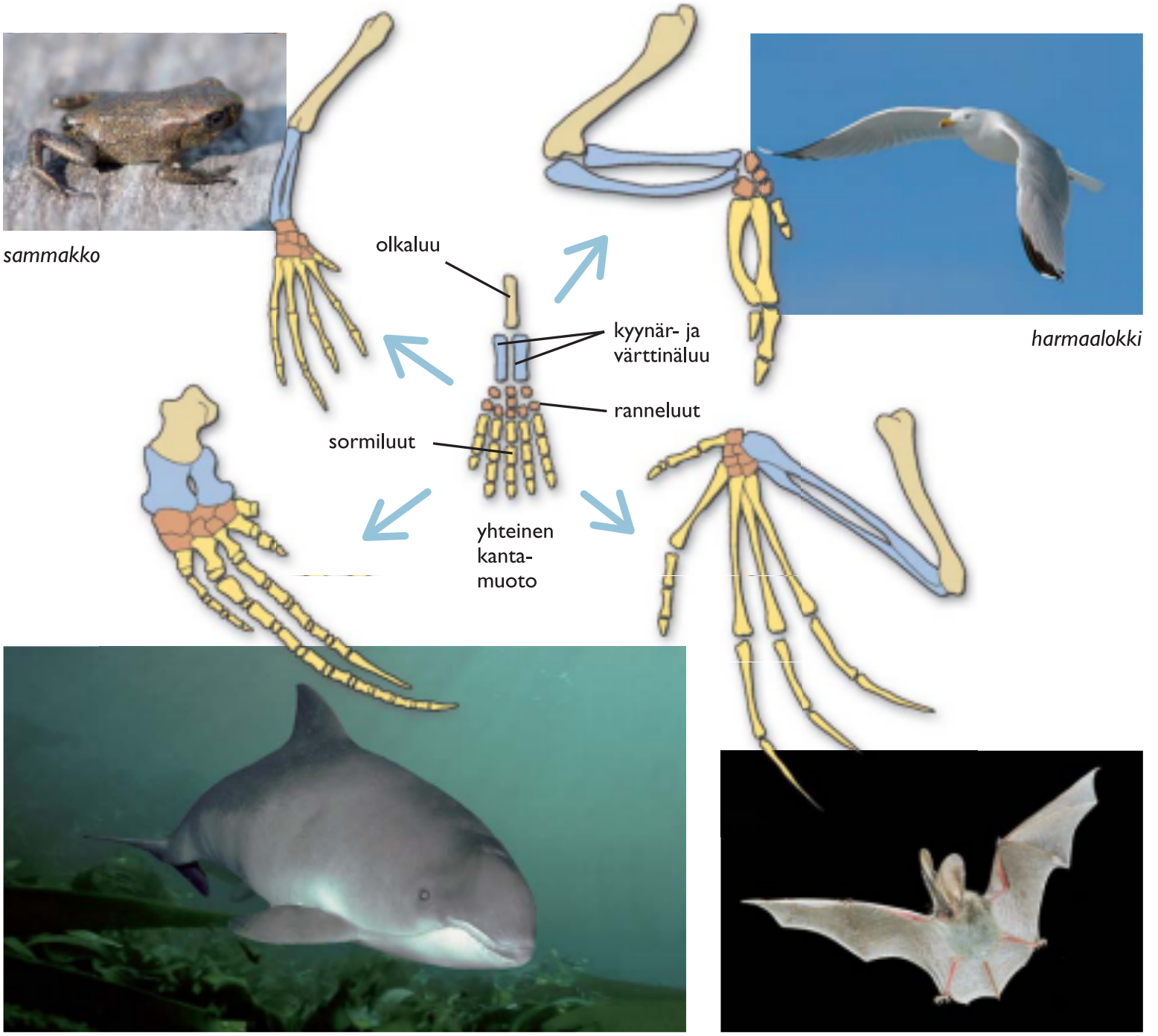
Eliöiden luokittelussa käytetään apuna useita eri keinoja

Eliöiden luokittelu perustuu siihen, että eri lajeja ja korkeampia luokittelutasoja verrataan toisiinsa. Aikaisemmin ainoana luokitteluperusteena olivat anatomiset eli rakenteelliset yhtäläisyydet ja erot. Kyse on nimenomaan sellaisista rakenteista, jotka ovat kehittyneet samasta perusrakenteesta. Voidaan esimerkiksi tutkia eläinten hampaistoa tai kukan rakennetta. Yleistäen voidaankin sanoa, että mitä enemmän kahden lajin välillä on samankaltaisuutta, sitä enemmän ne ovat sukua toisilleen ja sitä vähemmän on kulunut aikaa siitä, kun ne erkanivat yhteisestä kantamuodosta. On kuitenkin huomattava, että samankaltaisia rakenteita voi olla myös täysin erilaisiin ryhmiin kuuluvilla eliöillä. Linnuilla ja perhosilla on siivet, mutta se on osoitus sopeutumisesta samanlaiseen liikkumistapaan – ei suinkaan todiste yhteisestä kantamuodosta.

Yksi eläinten luokitteluperusteista on ollut niiden käyttäytymisen vertailu. Suurimmalla osalla eläimistä käyttäytyminen on vaistojen ohjaamaa eli geenien määräämää toimintaa. Esimerkiksi kommunikointijärjestelmä, reviirikäyttäytyminen tai soidinmenot ovat sukulaislajeilla samankaltaisia.

Eläimille tyypillistä reviiri- ja soidinkäyttäytymistä voidaan hyödyntää lajien määrittämisessä ja luokittelussa. Esimerkiksi koiraeläimet merkitsevät reviirinsä virtsamerkeillä.

Yksilönkehityksen vaiheita on käytetty myös yhtenä eliöiden luokittelun perustana. Nisäkkäät, kuvan jääkarhun tapaan, imettävät poikasiaan.



sammakko

harmaalokki

pyöriäinen

korvayökkö

Eri selkärankaislajien luuston rakenne kertoo niiden yhteisestä alkuperästä. Vaikka lintu ja lepakko pystyvät lentämään, sammakko loikkii neljällä raajalla ja pyöriäinen ui, on niillä kaikilla samanlainen raajan perusrakenne. Tällaisia yhteisestä kantamuodosta kehittyneitä rakenteita kutsutaan samansyntyisiksi eli homologisiksi. Samantoimisia eli analogisia rakenteet ovat silloin, kun ne ovat kehittyneet samanlaisiksi ympäristöön sopeutumisen vuoksi ilman minkäänlaista eliöryhmien välistä sukulaisuussuhdetta. Esimerkiksi perhosen ja linnun siipi toimivat samassa tehtävässä.

Yksilönkehityksen tutkiminen auttaa erityisesti kasvien ja eläinten luokittelussa. Nisäkkäät ja linnut eroavat toisistaan muun muassa siten, että nisäkkäillä poikanen kehittyy kohdussa, linnuilla puolestaan munan sisällä. Joillakin eläinryhmillä, kuten sammakoilla, yksilönkehitykseen kuuluu muodonvaihdos. Paljassiemenisillä kasveilla siemen kehittyy suojattomana emilehden pinnalla, koppisiemenisillä taas suojattuna sikiäimen sisällä ikään kuin kohdussa. Yhtäläisyydet yksilönkehityksessä kertovat eliöryhmien sukulaisuudesta.

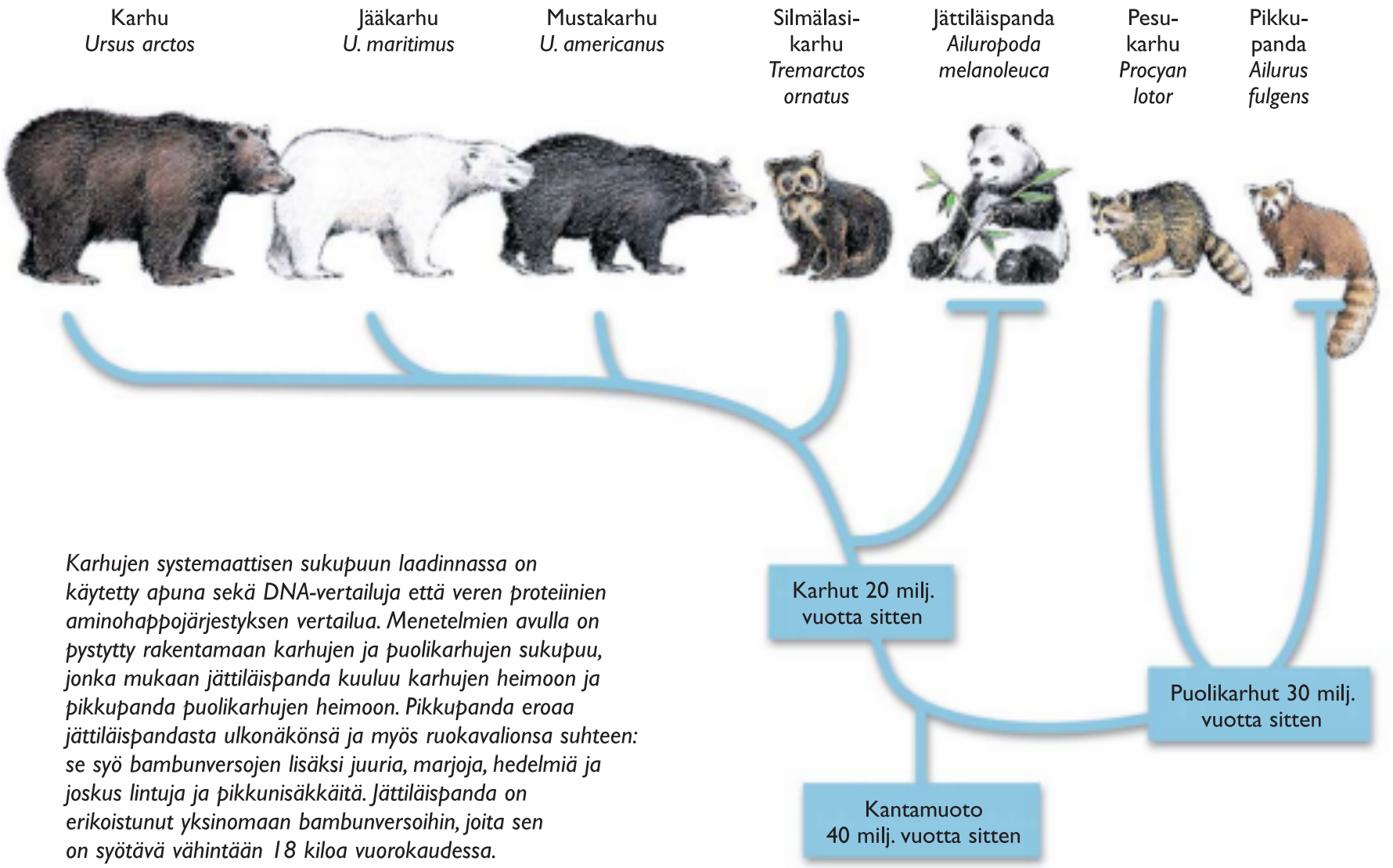
Tieteen ja teknologian kehitys on tuonut mukanaan paljon uusia menetelmiä eliöiden luokitteluun. Suuri edistysaskel eliöiden luokittelussa on ollut molekyylibiologian ja siihen liittyvän tekniikan kehitys. Kun DNA:n rakenne selvitettiin, huomattiin, että eri lajien välillä DNA:n rakenne poikkeaa enemmän kuin saman lajin eri yksilöiden välillä. Mitä enemmän

DNA:n rakenne muistuttaa kahden lajin välillä toistaan, sitä läheisempää sukua lajit ovat toisilleen.

Solun kaikki proteiinit syntyvät DNA:n ohjeen mukaan. Proteiinit rakentuvat aminohapoista, ja koska DNA on eri lajeilla erilainen, niin myös samaa tehtävää solussa hoitavan proteiinin aminohappojärjestys poikkeaa eri lajeilla toisistaan sitä enemmän, mitä kaukaisempaa sukua ne ovat toisilleen. Proteiinien aminohappojärjestyksen vertaaminen on toinen tarkka menetelmä lajien välisten sukulaisuussuhteiden selvittämiseen DNA-vertailun lisäksi.

Solun molekyylien lisäksi voidaan verrata solun kromosomeja. Jokaisella lajilla on sille tyypillinen kromosomiluku, ja lisäksi kromosomit ovat eri lajeilla erilaisia esimerkiksi kokonsa puolesta. Ihmisapinoiden kromosomiluku on 48 ja ihmisen 46. Ihmisapinoiden tietyt kaksi kromosomia näyttävät yhteenliitettyinä täysin samalta kuin ihmisen yksi tietty kromosomi. Tämä kromosomien samankaltaisuus onkin yksi vahva todiste ihmisen ja ihmisapinoiden sukulaisuudesta.

Lajien luokittelu tuottaa jatkuvasti uutta tietoa. Esimerkiksi Afrikassa on kaksi, ehkä jopa kolme eri norsulajia. Eri alueilla elävistä norsuista on kerätty DNA-näytteitä, ja niiden vertailun perusteella savanneilla elävä afrikansavanninorsu ja metsässä elävä afrikanmetsänorsu ovat eri lajeja. Lisäksi Länsi-Afrikassa eristyksissä elänyt norsupopulaatio voi olla itsenäinen laji. Uusimmat DNA-tutkimukset ovat myös osoittaneet, että Uudessa-Seelannissa elää ilmeisesti viisi tai kuusi eri kiivilintulajia eikä kolme, kuten aiemmin uskottiin.



Karhujen systemaattisen sukupuun laadinnassa on käytetty apuna sekä DNA-vertailuja että veren proteiinien aminohappojärjestyksen vertailua. Menetelmien avulla on pystytty rakentamaan karhujen ja puolikarhujen sukupuu, jonka mukaan jättiläispanda kuuluu karhujen heimoon ja pikkupanda puolikarhujen heimoon. Pikkupanda eroaa jättiläispandasta ulkonäkönsä ja myös ruokavalionsa suhteen: se syö bambunversojen lisäksi juuria, marjoja, hedelmiä ja joskus lintuja ja pikkunisäkkäitä. Jättiläispanda on erikoistunut yksinomaan bambunversoihin, joita sen on syötävä vähintään 18 kiloa vuorokaudessa.

Mikä koira on?

Koiran tieteellinen nimi on *Canis familiaris*, ja se kuuluu koirien sukuun *Canis*. Muita koirien sukuun kuuluvia lajeja ovat muun muassa sudet, kojootit ja dingot. Kaikilla Canis-suvun lajeilla on 78 kromosomia, mutta koiran perimä on kuitenkin lähimpänä suden perimää. Joidenkin koirarotujen, esimerkiksi dobermannien ja villakoirien välinen perinnöllinen muuntelu on suurempaa kuin koiran ja suden välinen perinnöllinen muuntelu. Susi ja koira voivatkin saada lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä. Koiran ja suden parittelukäyttäytymisessä on kuitenkin sen verran eroa, että pariutuminen ei onnistu kovin helposti.

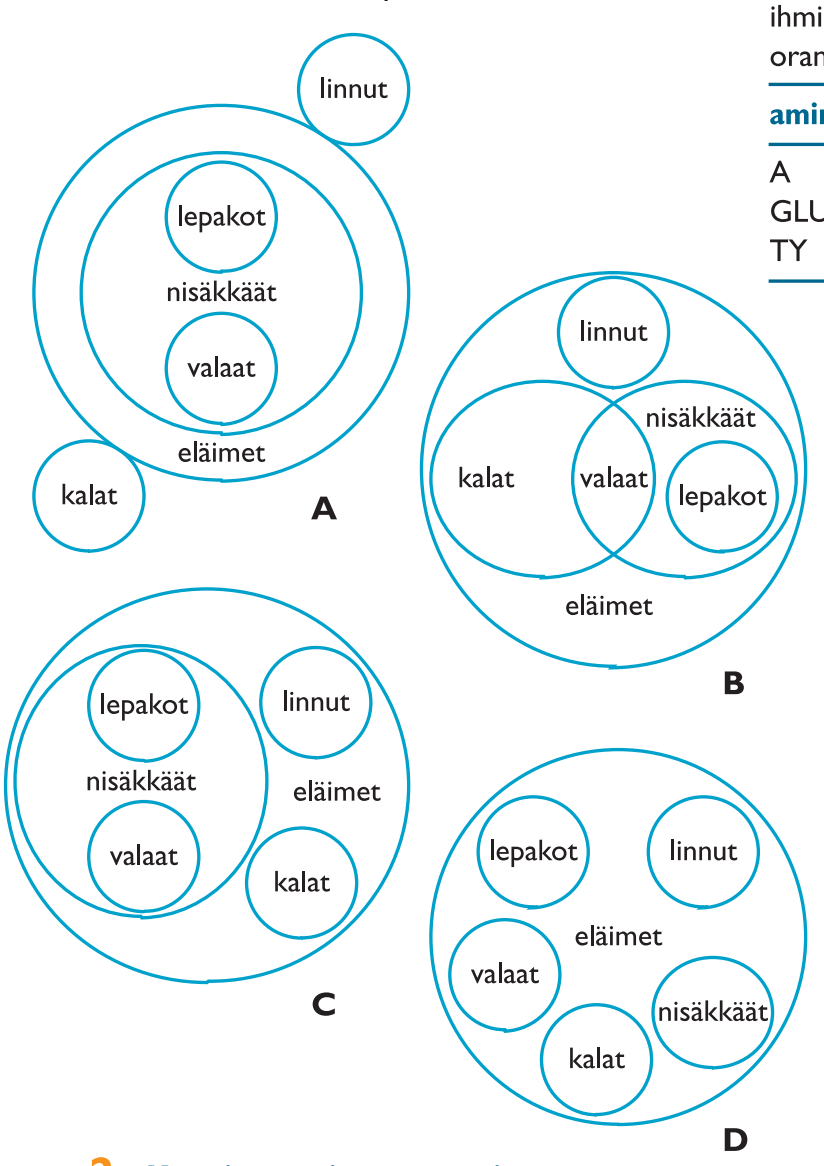
Koiran evoluutiota ovat tutkineet niin paleontologit, geneetikot kuin käyttäytymistutkijatkin. Suden ja koiran kehityslinjojen erkanemisajankohdasta on esitetty kaksi teoriaa. DNA-tutkimuksiin perustuvan teorian mukaan suden kesyttäminen koiraksi tapahtui jo yli 100 000 vuotta sitten. Toisen teorian mukaan koiran evoluutio alkoi varsinaisesti vasta noin 14 000 vuotta sitten, kun ihmiset jäivät asumaan pysyvästi paikalleen. Tällöin he alkoivat määrätietoisesti jalostaa koiria eri tarkoituksiin, kuten paimentamiseen, vartiointiin ja metsästykseen. Tärkeänä koiran valintakriteerinä on aina ollut kesy luonne, ja koiraa voidaankin pitää kesynä ”kotisutena”.

Koirien sukuun Canis kuuluvat muun muassa kojootit, dingot ja sudet. Susi ja kesy koira ovat geneettisesti lähimpänä toisiaan ja ne voivat saada lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä. Suomessakin on joitakin tarhoja, joissa kasvatetaan suden ja koiran risteymiä eli koirasusia. Niiden hoitamisessa ja kouluttamisessa on kuitenkin otettava huomioon suden luontainen laumakäyttäyminen. Kuvan Oskari -nimistä koirasutta on käytetty muun muassa mainoskuvauksissa.

TEHTÄVÄT

1. Luokittelujärjestelmän hierarkia

Mikä kuvioista A–D esittää oikeaa suhdetta luokitteluyksiköiden välillä?



2. Kuntien välinen vertailu

Millä tavalla seuraavat kunnat eroavat toisistaan?

a. kasvit ja sienet
b. bakteerit ja alkueliöt
c. eläimet ja kasvit
d. arkit ja eläimet

3. Proteiinin aminohappojärjestys luokittelun apuvälineenä

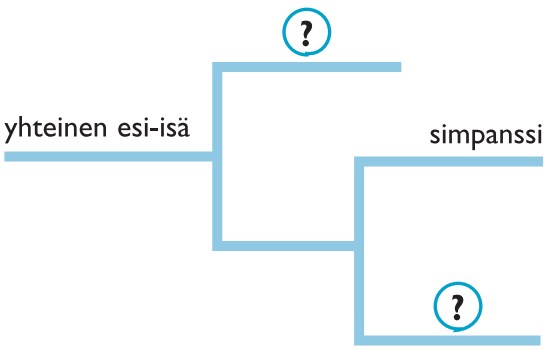
Nisäkkäiden hemoglobiiniproteiini muodostuu neljästä aminohappoketjusta. Näiden ketjujen aminohappojärjestys on selvitetty useilla eri nisäkkäillä. Taulukossa esitetään osa yhden ketjun aminohappojärjestyksestä neljällä eri kädellisellä.

kädellinen	aminohappojärjestys														
simpanssi	L	A	A	TR	G	L	V	G	A	H	A	G	GLU	TY	G
gorilla	L	A	A	TR	G	L	V	G	A	H	A	G	AS	TY	G
ihminen	L	A	A	TR	G	L	V	G	A	H	A	G	GLU	TY	G
oranki	L	TH	A	TR	G	L	V	G	A	H	A	G	AS	TY	G

aminohapot:

A	= alaniini	G	= glysiini	AS	= asparagiini	H	= histidiini
GLU	= glutamiinihappo			L	= lysiini	TH	= treoniini
TY	= tyrosiini			TR	= tryptofaani	V	= valiini

a. Täydennä oheinen sukupuu taulukon tietoja apuna käyttäen.
b. Miksi tämä tutkimus on liian suppea ihmisen ja simpanssin välisten erojen selvittämiseksi? Mitä muita tutkimuksia voitaisiin tehdä?



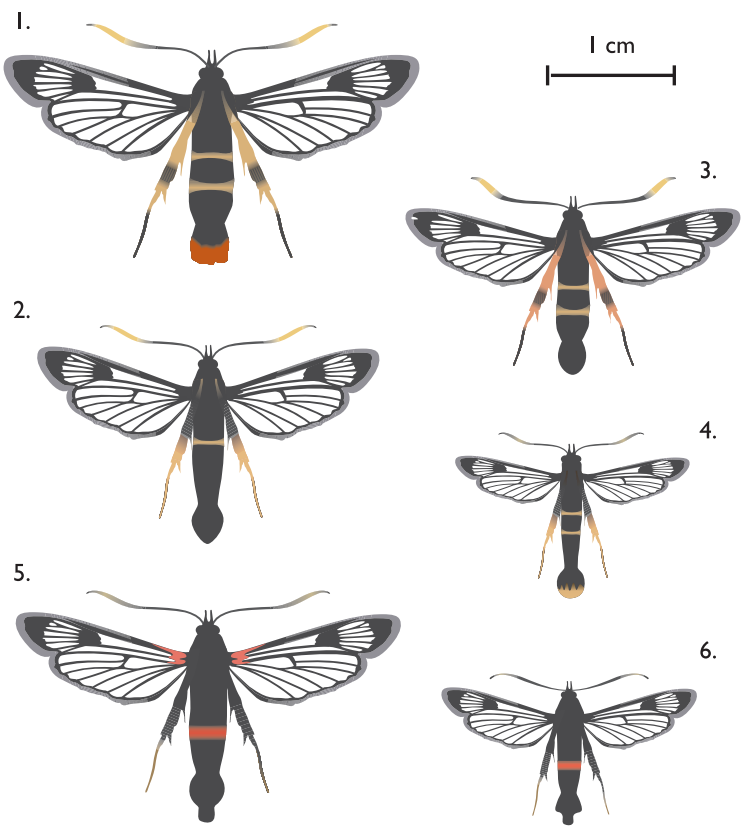
4. Eliökunnat

Piirrä kaavio, josta ilmenevät eliökunnan kuusi pääryhmää (kuntaa). Esittele kunkin ryhmän keskeisiä, muista ryhmistä erottavia piirteitä.

5. Perhosten luokittelua

yo s-07

a. *Synanthedon scoliaeformis* on lasisiipisiin kuuluva perhonen. Mistä osista tämä tieteellinen nimi koostuu? (1 p.)
b. Selosta, mitä tarkoitetaan eliöiden hierarkkisella luokittelulla. (1 p.)
c. Lajien tunnistamisessa käytetään apuna määrityskaavioita. Kuvissa 1–6 on samassa mittakaavassa lasisiipisiä (heimo *Sesiidae*). Laadi kuvataulun perusteella määrityskaavio, jossa esittämiesi tuntomerkkien avulla lajit 1–6 voidaan erottaa toisistaan. Apuna voit käyttää alla olevaa määrityskaaviomallia. Kaaviossa edetessäsi voi myös sopivassa haarautumiskohdassa jakaa lajit ryhmiin ja osoittaa sitten kunkin ryhmän sisällä, miten laji voidaan tunnistaa. (4 p.)



Lajit:
1. *Synanthedon scoliaeformis*
2. *Synanthedon spheciformis*
3. *Synanthedon mesiaeformis*
4. *Synanthedon andrenaeformis*
5. *Synanthedon culiciformis*
6. *Synanthedon myopaeformis*

Kuvalähde:
Fauna Entomologica Scandinavica, 1974 (vol. 2)

Käytä kaaviossa toisensa pois sulkevia vaihtoehtopareja. Esim.

A. Takaruumiin kärjen karvatupsu on kaksivärinen (puna-musta) ja ruumiin levyinen → *Synanthedon scoliaeformis*
B. Takaruumiin kärjen karvatupsu on musta tai se on kelta-musta ja ruumiista leveämpi. → kohta C
C. ……
D. …… jne.

6. Jäkäläpreparaatin teko

Tarvikkeet:
jäkälää (nahkajäkälää tai poronjäkälää)
objektilasi
peitinlasi
vettä
valomikroskooppi
huhmare

a. Irrota jäkälästä osia, hienonna palaset esim. huhmareessa ja laita jäkälämuruja objektilasille.
b. Lisää muutama vesitippa ja laita näytteen päälle peitinlasi.
c. Tarkastele preparaattia valomikroskoopilla.
d. Piirrä näkemästäsi kuva vihkoon ja nimeä kuvaan jäkälän osat.

Yhteenveto

Eliöiden luokittelujärjestelmä on hierarkkinen, ja siihen kuuluvat seuraavat tasot: kunta > pääjakso/kaari > luokka > lahko > heimo > suku > laji.

Eliöiden lajimäärä maapallolla on moninkertaisesti suurempi, kuin mitä tähän mennessä on arvioitu.

Solurakenteen perusteella eliöt jaetaan kahteen ryhmään: esitumallisiin ja tumallisiin.

Eliöt voidaan jakaa kuuteen kuntaan: bakteerit, arkit, alkueliöt, kasvit, sienet ja eläimet.

Virukset ovat eliökunnan luokituksen ulkopuolella.

Eliöitä luokiteltaessa käytetään apuna useita menetelmiä.

Tarkinta tietoa eliöiden välisistä sukulaissuhteista antavat DNA-vertailu ja proteiinien aminohappojärjestyksen vertaaminen.

Avainsanat
alkueliö
alkueläin
arkki
bakteeri
eläin
esitumallinen
jäkälä
kasvi
laji
levä
luokittelu
samansyntyinen
samantoiminen
sieni
tumallinen

4.

Elämän monimuotoisuus ilmenee monella tasolla

Kautta vuoden tasainen yli +25 asteen lämpö, sadetta lähes joka päivä, tiheä, leveälehtisten ikivihreiden puiden muodostama latvusto, josta jättiläispuut kurottautuvat jopa seitsemänkymmenen metrin korkeuteen. Hehtaarin kokoisella alueella elää tuhansia erilaisia eläinlajeja, satoja kasvilajeja, sieniä ja muita lahottajia. Tällaista on sademetsässä, missä elämän monimuotoisuus on suurimmillaan.

Monimuotoisuudella tarkoitetaan elämän erilaisuutta

Maapallolla on ollut elämää noin 3,5 miljardin vuoden ajan. Tämän biologisen evoluution aikana on kehittynyt valtava määrä erilaisiin elinympäristöihin sopeutuneita eliölajeja. Lisäksi jokaiseen eliölajiin kuuluu erilaisia yksilöitä, jotka yleensä poikkeavat ominaisuuksiltaan enemmän tai vähemmän lajikumppaneistaan. Yhdenkään lajin yksilöt eivät elä yksin, vaan ne ovat monin tavoin vuorovaikutuksessa lajitovereidensa, toisten lajien ja elottoman luonnon kanssa. Tämä luo monimuotoisuutta.

Monimuotoisuuden tasot

Maapallon elämän monimuotoisuudesta käytetään usein nimitystä biodiversiteetti, joka tulee kreikan kielen ’elämää’ merkitsevästä sanasta ”bio” ja latinan kielen ’erilaista’ tarkoittavasta sanasta ”diversus”. Monimuotoisuus on siis elämää ja erilaisuutta. Se ei tarkoita vain joitakin maapallon erilaisia luontokohteita, vaan se on koko luonnon olennainen luonteenpiirre. Siksi monimuotoisuuden tutkiminen ja selkeä määrittely ei olekaan ihan helppoa.

Biologista monimuotoisuutta tarkastellaan nykyisin useimmiten ekosysteemien, lajien ja lajien sisäisen monimuotoisuuden eli geneettisen monimuotoisuuden tasolla. Ekosysteemien monimuotoisuus on tasoista laajin. Ekosysteemillä tarkoitetaan yhtenäisellä alueella elävien eliöiden välisiä vuorovaikutussuhteita ja niiden yhdessä elottoman ympäristön kanssa muodostamaa toiminnallista kokonaisuutta. Ekosysteemien erilaisuus ja monimuotoisuus perustuvat elottoman luonnon, kuten kallio- ja maaperän, lämpö- ja valaistusolosuhteiden sekä kosteuden vaihteluun. Kaikkien ekosysteemien ympäristöolosuhteet ja eliöt muuttuvat ajan mukana. Esimerkiksi palo- tai hakkuuaukeasta kehittyvä havumetsä käy läpi monta erilaista vaihetta, ennen kuin se on uudestaan järeä aarnimetsä. Eliöiden elinympäristöä, jossa keskeiset ympäristötekijät, kuten valo, lämpö, kosteus ja maaperän ravinteisuus ovat samankaltaiset, kutsutaan usein biotoopiksi. Kussakin biotoopissa elävät siellä vallitseviin oloihin sopeutuneet eliöt.

Toinen monimuotoisuuden taso on lajien monimuotoisuus, lajidiversiteetti, eli erilaisissa ympäristöissä elävien lajien määrä ja yksilörunsaus. Luonnon monimuotoisuudella tarkoitetaan usein juuri lajien monimuotoisuutta, koska se on helpommin nähtävissä, ymmärrettävissä ja mitattavissa kuin monimuotoisuuden muut tasot.

Kolmas tarkastelutaso on lajinsisäinen eli geneettinen monimuotoisuus, jolla tarkoitetaan saman lajin yksilöiden välisiä eroja. Niitä aiheuttavat pääasiassa yksilöiden ominaisuuksiin vaikuttavat perintötekijät. Lajinsisäisen monimuotoisuuden on havaittu lisäävän lajin ja sen populaatioiden sopeutumis- ja selviytymiskykyä ympäristönmuutoksissa. Uhkatekijät, kuten taudit, loiset, tuholaiset ja elinympäristöjen saastuminen, kohtelevat ankarimmin sellaista lajia, jonka yksilöt muistuttavat perimältään liian paljon toisiaan. Lajin sisäinen monimuotoisuus eli muuntelu mahdollistaa pitkällä aikavälillä myös evoluution eli lajin kehityksen ja uusien lajien synnyn.

Erilaiset ekosysteemit esiintyvät usein lomittain. Havumetsä on suurekosysteemi eli biomi, jonka sisällä on soita, järviä ja ihmisen luomia kulttuuriekosysteemeitä kuten peltoja, niittyjä ja ketoja.

Keltavästäräkki viihtyy nevoilla ja kosteilla rantaniityillä.

Västäräkin biotooppeja ovat kivikkoiset rannat, tienvarret ja muut avomaat.

Ekosysteemien monimuotoisuus

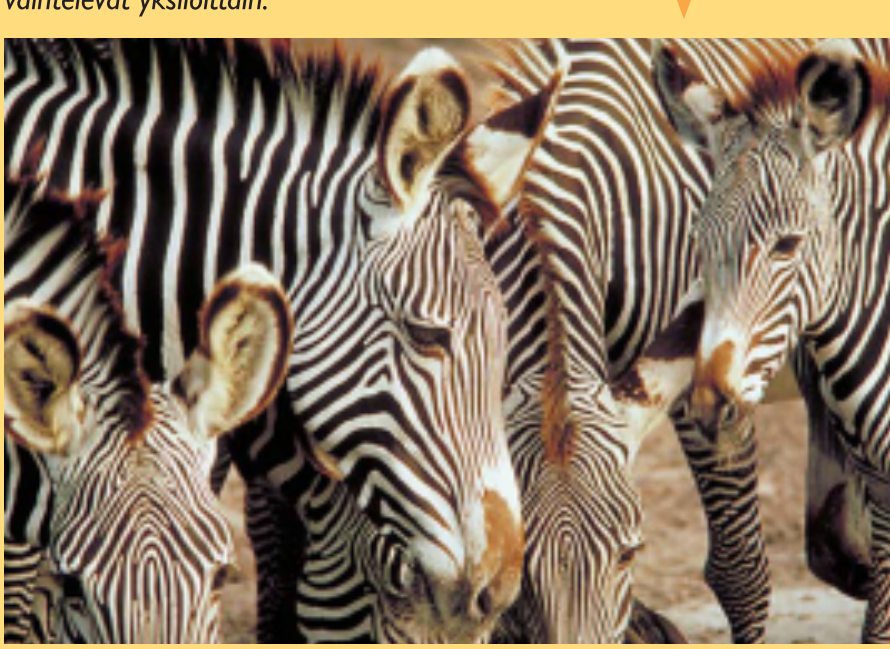
Elottoman luonnon ympäristötekijöistä riippuu, millainen ekosysteemi jollekin alueelle kehittyy. Lehtimetsä, savanni, järvi ja suo ovat esimerkkejä ekosysteemeistä. Kaikissa ekosysteemeissä elää monimuotoinen, omaan elinympäristöönsä sopeutunut eliölajisto. Laajoja suurekosysteemejä, kuten sademetsää, savannia ja havumetsää kutsutaan biomeiksi.

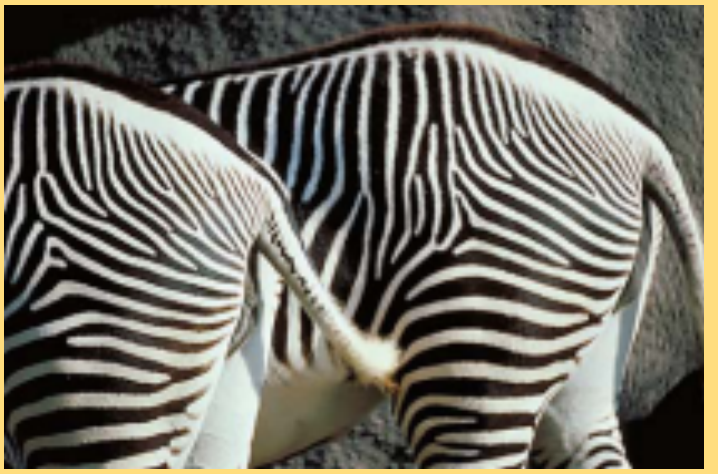
Lajimonimuotoisuus

Monilajisinta ja runsainta elämä on siellä, missä sen edellytykset ovat suotuisimmat. Lajien lukumäärä vähenee siirryttäessä päiväntasaajalta kohti napa-alueita tai maaston korkeuden noustessa merenpinnasta vuoristoiksi. Tutkijoiden arviot maapallolla elävien lajien kokonaismäärästä vaihtelevat viidestä miljoonasta peräti sataan miljoonaan. Vuosittain nimetään ja kuvataan tieteellisesti keskimäärin kolme uutta lintulajia, useita trooppisten vesien kalalajeja ja tuhansia selkärangattomia eläimiä.

Lajin sisäinen monimuotoisuus

Lajin sisäinen monimuotoisuus näkyy luonnossa rakenteeltaan, elintoiminnoiltaan ja käyttäytymiseltään erilaisissa yksilöissä. Tätä kutsutaan muunteluksi. Kaikilla seeproilla on raitoja, mutta raitojen lukumäärä ja leveys vaihtelevat yksilöittäin.





TEHTÄVÄT

1. Monenlaista monimuotoisuutta

Mistä monimuotoisuuden tasosta on kyse seuraavissa esimerkkilauseissa?

a. Puluparven yksilöt ovat keskenään erinäköisiä.
b. Suomalaisen havumetsän kenttäkerroksen lajeja ovat puolukka, kanerva, metsälauha ja kultapiisku.
c. Suolammen ahvenet ovat pienikokoisia ja mustanpuhuvia, kirkkaanveden ahvenet vaaleampia.
d. Taigalla eli pohjoisella havumetsävyöhykkeellä on havumetsää, soita, järviä ja lehtimetsää.

2. Miksi Suomessa on vain muutamia sammakkoeläinlajeja?

a. Maapallolla elää noin 4 000 sammakkoeläinlajia, mutta Suomessa tavataan niistä vain viisi. Mikä tähän on syynä?
b. Missä ekosysteemeissä sammakkoeläimiä esiintyy runsaasti ja miksi?
c. Missä muissa ekosysteemeissä – pohjoisen havumetsäalueen lisäksi – tavataan sammakkoeläimiä vain vähän tai ei ollenkaan? Miksi?
d. Tutkijat ovat selvittäneet, että Suomessa elävä tavallinen sammakko tuottaa vähemmän mutta suurikokoisempia mätimunia kuin saman lajin sammakot Keski-Euroopassa. Mikä voisi olla syynä tähän ilmiöön?

3. Vertaa suurekosysteemejä

Laadi vertailutaulukko kahdesta maapallon suurekosysteemistä.
Huomioi vertailussa ekosysteemien sijainti maapallolla, elottoman luonnon ympäristötekijät, arvioidut lajimäärät, muutamat tyyppilajit sekä ekosysteemin merkitys maapallon luonnonoloille ja ihmiselle.

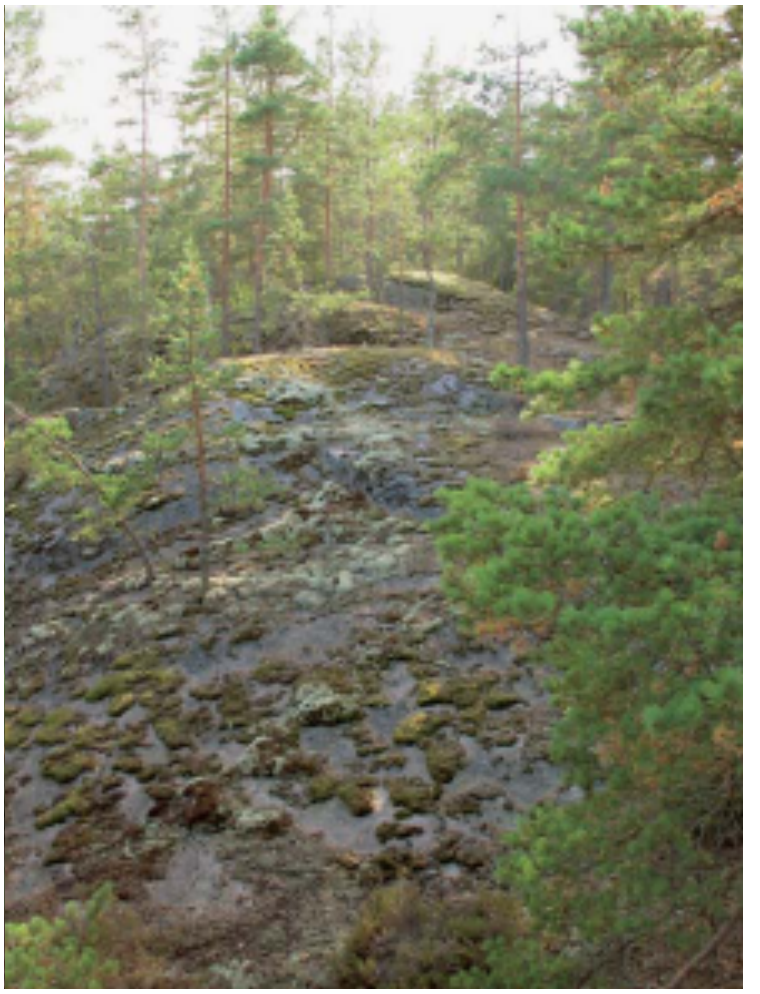
4. Kuva-analyysi

yo s-06

a. Vertaile kuvaparin biotooppien ympäristötekijöitä ja kasvillisuutta.
b. Miten monimuotoisuus (biodiversiteetti) ilmenee kuvien biotoopeissa?

A

B



Yhteenveto

Elämän monimuotoisuus eli biodiversiteetti

Ekosysteemien monimuotoisuus

Määritelmä
- Erilaisia elottoman luonnon ja eliöyhteisöjen muodostamia toiminnallisia kokonaisuuksia

Aiheuttajat
- Elottoman luonnon ympäristötekijöiden vaihtelu eri alueilla

Merkitys
- Lisää lajimonimuotoisuutta

Lajimonimuotoisuus

Määritelmä
- Lajien määrä ja yksilörunsaus erilaisissa ekosysteemeissä

Aiheuttajat
- Ympäristön vaihtelevuus
- Lajien sopeutuminen erilaisiin ekolokeroihin

Merkitys
- Vakauttaa ekosysteemiä, vähentää kilpailua ja tehostaa ympäristöresurssien käyttöä

Lajinsisäinen eli geneettinen monimuotoisuus

Määritelmä
- Yksilöiden erilaisuus populaatioissa eli muuntelu
- Saman lajin eri populaatioiden väliset erot

Aiheuttajat
- Suvullinen lisääntyminen
- Mutaatiot

Merkitys
- Auttaa lajeja ja populaatioita selviytymään muuttuvissa ympäristöoloissa

Avainsanat

biodiversiteetti
biomi
biotooppi
ekosysteemi
ekosysteemien monimuotoisuus
lajimonimuotoisuus
lajin sisäinen eli geneettinen monimuotoisuus

II

Evoluutio saa aikaan monimuotoisuutta

Jakson sisältämät luvut

5. Muuntelu on evoluution edellytys

6. Luonnonvalinta ohjaa evoluutiota

7. Populaatioista voi syntyä vähitellen uusia lajeja

8. Elämä syntyy ja kehittyy merissä

9. Elämä siirtyy maalle

10. Evoluutiota tutkitaan monella tavalla

- **Miten uusia lajeja syntyy?**
- **Miksi lajeja häviää?**
- **Miksi seksi voitti?**
- **Jos evoluutio alkaisi uudelleen, kehittyisikö maapallon elämä nykyisen kaltaiseksi?**
- **Onko evoluutiolla päämäärää?**

5.

Muuntelu on evoluution edellytys

Leopardit ovat Saharan eteläpuolisen Afrikan ja Etelä-Aasian kissapetoja. Useimmat niistä ovat väritykseltään kellanruskeita ja mustatäpläisiä, mutta etenkin Aasiassa tavataan myös mustia värimuotoja, ”mustia panttereita”. Jokaisen lajin yksilöissä esiintyy pieniä eroja: ne voivat olla erikokoisia, erivärisiä tai erimuotoisia. Mikä tämän muuntelun aiheuttaa ja mitä merkitystä sillä on?

Muuntelu auttaa populaation yksilöitä sopeutumaan ympäristöönsä

Vaikka saman lajin yksilöillä on paljon yhteisiä piirteitä, ne poikkeavat toisistaan yleensä rakenteeltaan, elintoiminnoiltaan ja kehittyneimmät eläimet myös käyttäytymiseltään. Tämä yksilöiden välinen ero perustuu geneettiseen monimuotoisuuteen ja sitä kutsutaan lajin sisäiseksi muunteluksi. Luonnossa lajit elävät populaatioina. Populaatio on tietyllä alueella tiettynä aikana elävien saman lajin yksilöiden joukko, joilla on mahdollisuus saada keskenään jälkeläisiä. Eliölaji voi koostua yhdestä tai useasta populaatiosta, ja yhteen populaatioon voi kuulua vain joitakin kymmeniä tai jopa miljoonia yksilöitä. Muuntelu auttaa lajia ja sen populaatioita sopeutumaan monenlaisiin ja muuttuviin ympäristöolosuhteisiin. Siksi se on evoluution edellytys.

Ympäristön aiheuttama muuntelu ei periydy

Se, millaiseksi yksilön ominaisuudet kehittyvät, riippuu pitkälti vanhemmilta perityistä geeneistä. Kaikki eliölajin yksilöiden väliset erot eivät kuitenkaan johdu perimästä, vaan osa muuntelusta on ympäristön aikaansaannosta. Perimältään samanlaiset yksilöt voivat ympäristötekijöiden vaihtelevuuden takia kehittyä toisistaan hyvinkin poikkeaviksi. Lajin sisällä ympäristön aiheuttama muuntelu näkyy erityisesti kasvilajeilla niin sanottuina kasvupaikkamuotoina. Ympäristötekijöiden vaikutus voidaan havaita myös eläinten ulkonäössä ja käyttäytymisessä. Esimerkiksi kaupunkiympäristöön sopeutuneet metsälinnut voivat muuttaa ravinnonhankintatapojaan tähän uuteen ympäristöön sopivaksi. Ympäristön aiheuttamaa muuntelua kutsutaan muovautumismuunteluksi ja sen aiheuttamia ominaisuuksia hankituiksi ominaisuuksiksi.

Ympäristötekijöiden vaikutusta ulkonäköön voidaan tutkia suvuttomasti lisääntyvillä kasveilla, koska suvuttoman lisääntymisen seurauksena kaikilla jälkeläisillä on toisiinsa verrattuna samanlaiset perintötekijät. Monet kasvit kykenevät lisääntymään rönsyistä, juurimukuloista, lehdistä tai joistakin muista kasvin osista. Perunamaan voi perustaa vaikka yhden ”emokasvin” kesän aikana kasvattamista mukuloista. Näin perustetun perunamaan kaikkien kasviyksilöiden pitäisi olla keskenään samanlaisia, koska niiden geenit ovat samanlaisia kuin emokasvin. Silti mukuloista kasvaneista perunakasveista toiset ovat kookkaampia, isompilehtisiä ja tuottavat suuremman sadon kuin toiset. Erot ovat sitä suurempia, mitä enemmän kasvuympäristöt poikkeavat toisistaan.

Muovautumismuuntelukyvyn avulla eliöt sopeutuvat ympäristöönsä ja selviytyvät menestyksekkäästi monenlaisissa olosuhteissa. Sen ansiosta sukupolvi toisensa jälkeen voi elää ja lisääntyä, vaikka ympäristöolot muuttuvat tai ovat epäsuotuisia. Muovautumismuuntelu antaa lajille aikaa sopeutua muuttuneisiin olosuhteisiin myös perinnöllisesti ja vähentää näin lajin riskiä kuolla sukupuuttoon.

Mansikka lisääntyy suvuttomasti rönsyjen avulla. Rönsyistä kasvaneiden uusien kasvien perimä on sama, ja niiden erinäköisyys toisiinsa ja emokasviin verrattuna on ympäristön aiheuttamaa muuntelua.

Perinnöllinen muuntelu tuottaa populaatioon erilaisia yksilöitä

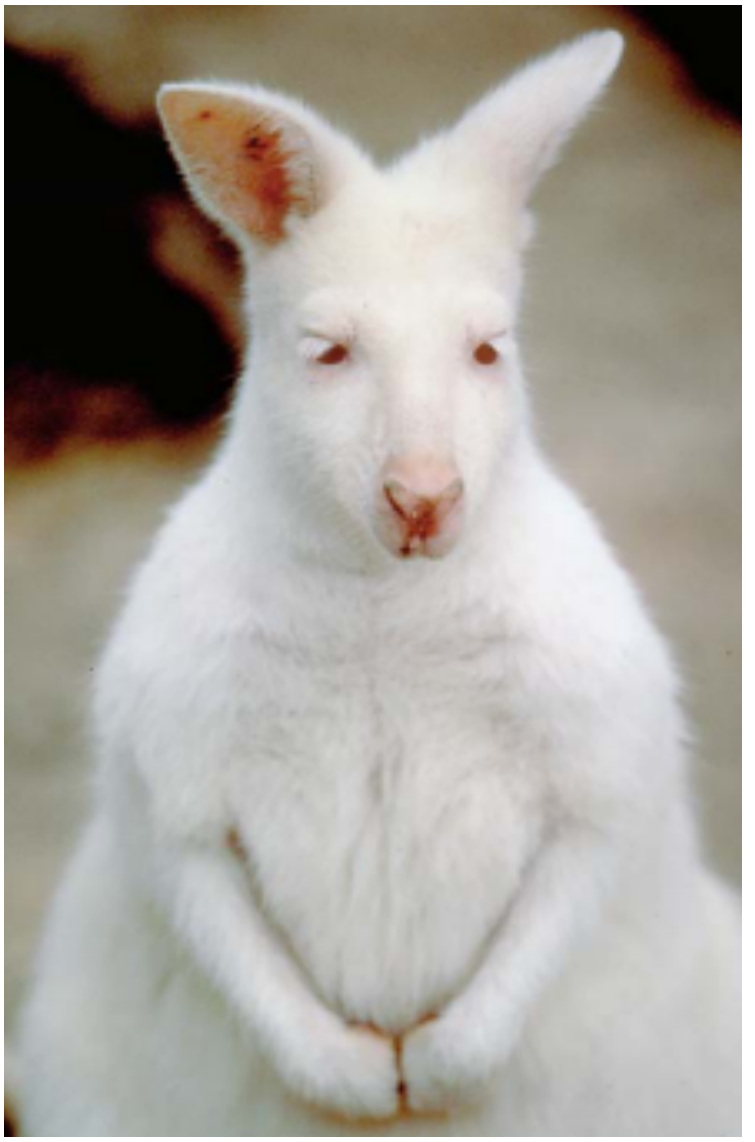
Vaikka kaikki maapallon ihmiset kuuluvat samaan lajiin (*Homo sapiens*), he eroavat ulkonäöltään ja myös geeneiltään toisistaan. Vain samasta hedelmöityneestä munasolusta kehittyneet identtiset kaksoset ovat myös geeneiltään täysin toistensa kaltaisia. Ihon väri, ruumiin koko, kasvojen muoto, veriryhmä, kyky hajottaa maitosokeria ja monet muutkin ominaisuudet muuntelevat, vaikka ihmiset eläisivät samanlaisessa ympäristössä. Kaikkien suvullisesti lisääntyvien eliöiden jälkeläisistä löytyy toki vanhempien piirteitä, ja samojen vanhempien jälkeläiset muistuttavat toisiaan enemmän kuin lajin muita yksilöitä. Miksi kuitenkin jälkeläiset poikkeavat vanhemmistaan ja sisarukset toisistaan? Mikä aiheuttaa perinnöllistä muuntelua populaatioon?

Mutaatiot tuottavat populaatioon uusia ominaisuuksia

Osa saman lajin yksilöiden ja populaatioiden välisistä eroista on seurausta perintötekijöiden rakenteellisista muutoksista eli mutaatioista. Mutaatiossa joko geenit, kromosomin osat tai kromosomien lukumäärät muuttuvat pysyvästi toisenlaiseksi. Populaation muuntelun ja näin evoluution kannalta tärkein mutaatiotyyppi on geenimutaatio. Kun eliön johonkin ominaisuuteen vaikuttava geeni muuttuu, voi ominaisuuden ilmeneminen muuttua. Hyvin monista geeneistä tunnetaan mutaatioiden seurauksena syntyneitä hieman toisistaan poikkeavia muotoja, joita kutsutaan alleeleiksi. Nämä uudet muodot voivat vaikuttaa yksilön rakenteeseen, elintoimintoihin tai käyttäytymiseen. Mutaatiot siis tuottavat uusia ominaisuuksia populaatioon ja vaikuttavat lajinkehitykseen.

Ihmisten väliset erot ovat seurausta erilaisesta perimästä ja ympäristöstä. Ulkoisesta erilaisuudestaan huolimatta maapallon ihmisten väliset perinnölliset erot ovat pieniä. Asuinpaikan kulttuuri muovaakin erityisesti ihmisten henkisiä ominaisuuksia ja käyttäytymistä. Ihmisen ihonväri on useiden alleeliparien vaikutuksena syntynyt perinnöllinen ominaisuus.

Punakoivu (Betula pubescens f. rubra) on syntynyt tavallisesta hieskoivusta (Betula pubescens) geenimutaation seurauksena. Mutaation ansiosta koivun lehtien pintasolukkoon syntyy enemmän punaisia väriaineita. Väriaineet hidastavat puun kasvua, koska ne vähentävät auringon säteiden tunkeutumista lehden yhteyttämissolukkoon. Jos UV-säteilyn määrä lisääntyy maapallolla, tällainen mutaatio voi olla edullinen, koska haitallinen säteily ei pääse vahingoittamaan punakoivun yhteyttämissolukkoa.



Ihon, karvojen ja silmän värikalvoa suojaavan väriaineen, melaniinin, tuotantoa ohjaavasta geenistä tunnetaan mutaatio, joka aiheuttaa albinismia. Jos yksilö perii albinismialleelin molemmilta vanhemmiltaan, tulee jälkeläisestä albiino eli solut eivät tuota melaniinia. Onko tämä mutaatio edullinen vai haitallinen? Kuvassa albiino wallabi.

Mutaatioita tapahtuu ympäristössämme jatkuvasti. Radioaktiivinen säteily ja monet kemikaalit voivat aiheuttaa erilaisia muutoksia DNA:n rakenteessa. Lisäksi tavataan niin sanottuja spontaaneja mutaatioita, joiden syitä ei tarkasti tunneta. Useimmat mutaatiot tapahtuvat soluissa, joilla ei ole vaikutusta lisääntymiseen. Nämä niin sanotut somaattiset mutaatiot vaikuttavat vain asianomaisessa yksilössä ja katoavat yksilön kuollessa. Mikäli mutaatio tapahtuu sukusoluja tuottavassa solulinjassa, voi muuttunut perimä siirtyä seuraavalle sukupolvelle.

Suurin osa geenimutaatioista on niin sanottuja neutraaleja mutaatioita, joilla ei juurikaan ole vaikutusta yksilöön tai populaatioon. Monet muuttuneista geeneistä karsiutuvat nopeasti pois joko sattumalta tai siksi, että useimmat näiden tuottamista uusista ominaisuuksista ovat yksilölle haitallisia. Joskus syntyy kuitenkin mutaatio, jonka seurauksena yksilölle kehittyy ympäristöön sopeutumista parantava ominaisuus. Tällaiset yksilöt lisääntyvät yleensä tehokkaasti ja muuttunut geeni alkaa yleistyä populaatiossa. Jotkut muuttuneista geeneistä eivät ole syntyhetkellään sen enempää haitallisia kuin hyödyllisiäkään. Ne säilyvät populaation yksilöissä ”varastossa” ja voivat osoittautua populaatiolle tarpeellisiksi elinympäristön, kuten esimerkiksi ilmaston, muuttuessa.

Suvullisessa lisääntymisessä perintötekijät yhdistyvät uudella tavalla

Monisoluiset eliöt kykenevät lisääntymään suvullisesti. Suvullisessa lisääntymisessä uuden yksilön kehittyminen alkaa hedelmöittymishetkellä, jolloin koiras- ja naarassukusolujen tumat yhtyvät ja tuman kromosomien mukana geenit siirtyvät jälkeläiseen. Vaikka uusi yksilö perii geeninsä vanhemmiltaan, muodostuu sen perimä ainutkertaisesta geeniyhdistelmästä. Sekä

koiras että naaras tuottavat suuren määrän sukusoluja, jotka poikkeavat perimältään toisistaan, esimerkiksi mies tuottaa satoja miljoonia erilaisia siittiöitä vuorokaudessa. Kun hedelmöitys tapahtuu, on myös sattumanvaraista, mikä koiraspuolisista sukusoluista hedelmöittää naaraspuolisen sukusolun. Sukusolujen erilaisuus ja niiden sattumanvarainen yhdistyminen hedelmöityksessä johtavat siihen, että jälkeläiset muistuttavat enemmän tai vähemmän vanhempiaan ja sisaruksiaan, mutta yksilöt poikkeavat kuitenkin toisistaan.

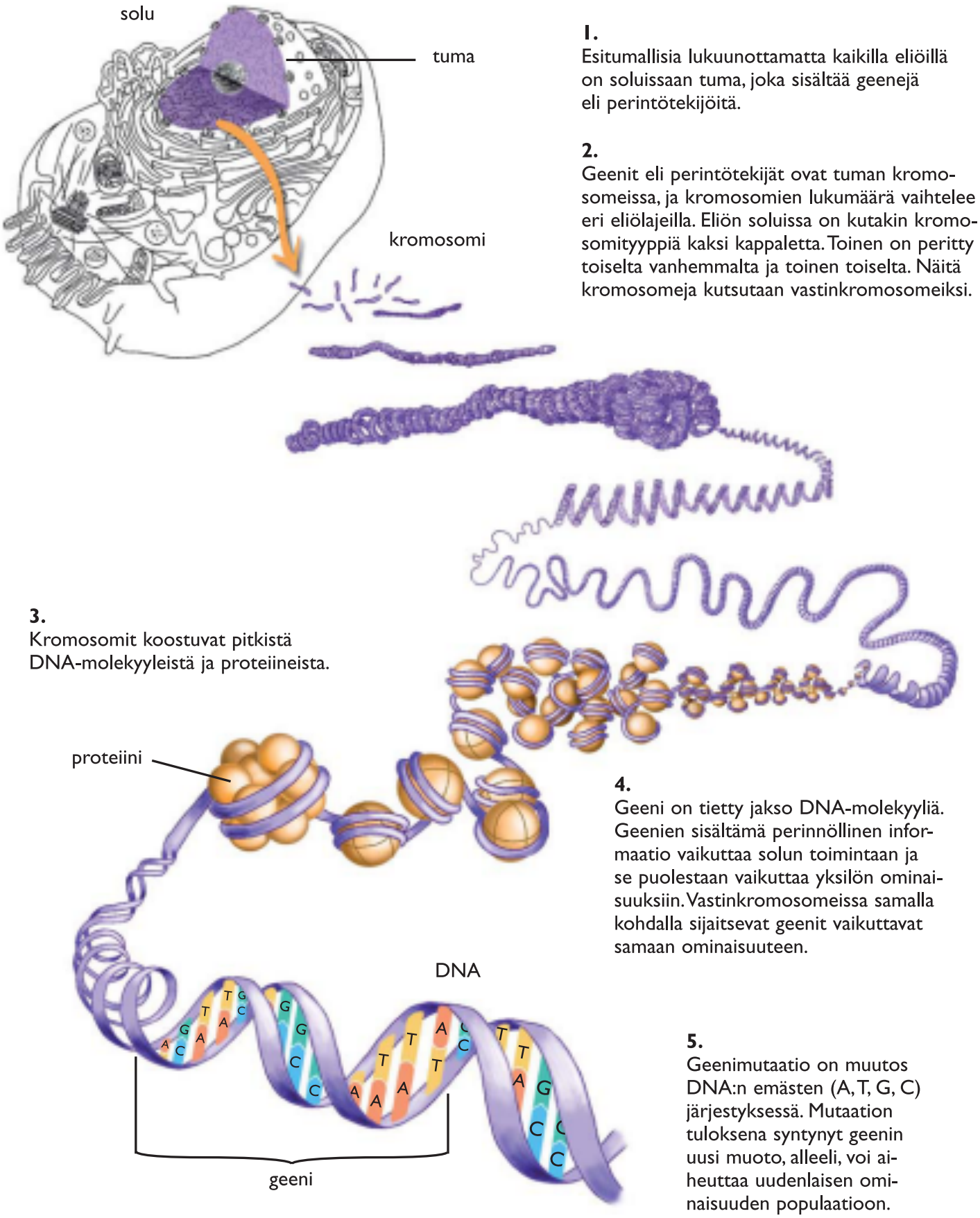
Suvullisen lisääntymisen seurauksena syntyneet yksilöt eroavat toisistaan rakenteeltaan ja elintoiminnoiltaan. Tämä erilaisuus on seurausta pääasiassa erilaisista perintötekijöiden yhdistelmistä. Populaatiossa olevat geenit ilmenevät hieman eri tavoin kussakin sen yksilössä. Erilaisuuden avulla populaatio kykenee paremmin sopeutumaan pysyviin ympäristön muutoksiin, koska todennäköisesti jollakin sen jäsenistä on sopeutumisessa tarvittavia ominaisuuksia. Myös saman lajin eri populaatiot poikkeavat toisistaan, joten vaikka yksi populaatio häviää, laji voi selvitä toisten populaatioiden avulla. Suvullinen lisääntyminen onkin keskeinen tekijä lajinkehityksessä ja siksi se on yleistynyt evoluution kuluessa. Toisin sanoen seksi on ollut ja tulee olemaan evoluution suosiossa.

Suvullinen lisääntyminen aiheuttaa perinnöllistä muuntelua, koska uusia geeniyhdistelmiä syntyy seuraavilla tavoilla:

1. Sukusolujen syntymisvaiheessa on sattumanvaraista, millainen yhdistelmä vanhempien kromosomeista ja perintötekijöistä munasoluun tai siittiöön tulee. Siksi jokainen sukusolu on perimältään hieman erilainen.
2. Sukusoluja syntyy monilla lajeilla runsaasti ja sattuma määrää, mikä siittiö munasolun hedelmöittää.
3. Lisääntymiskumppanin valinta on usein sattumanvaraista.

Kutupaikalle kerääntyy usein kymmeniä uros- ja naarassammakoita. Kutukiihkoiset koirassammakot saattavat paritella ensimmäisen kohtaamansa naaraan kanssa.

Perinnöllisyyden perusteita



1.
Esitumallisia lukuunottamatta kaikilla eliöillä on soluissaan tuma, joka sisältää geenejä eli perintötekijöitä.

2.
Geenit eli perintötekijät ovat tuman kromosomeissa, ja kromosomien lukumäärä vaihtelee eri eliölajeilla. Eliön soluissa on kutakin kromosomityyppiä kaksi kappaletta. Toinen on peritty toiselta vanhemmalta ja toinen toiselta. Näitä kromosomeja kutsutaan vastinkromosomeiksi.

3.
Kromosomit koostuvat pitkistä DNA-molekyyleistä ja proteiineista.

4.
Geeni on tietty jakso DNA-molekyyliä. Geenien sisältämä perinnöllinen informaatio vaikuttaa solun toimintaan ja se puolestaan vaikuttaa yksilön ominaisuuksiin. Vastinkromosomeissa samalla kohdalla sijaitsevat geenit vaikuttavat samaan ominaisuuteen.

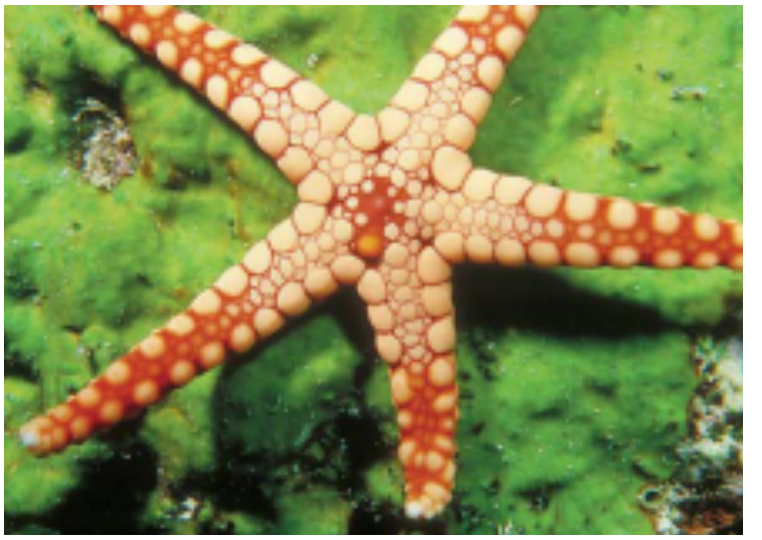
5.
Geenimutaatio on muutos DNA:n emästen (A, T, G, C) järjestyksessä. Mutaation tuloksena syntynyt geenin uusi muoto, alleeli, voi aiheuttaa uudenlaisen ominaisuuden populaatioon.

Suvuttomassa lisääntymisessä perinnöllinen muuntelu perustuu mutaatioihin

Suvuttomassa lisääntymisessä jälkeläiset ovat yleensä emoyksilön kaltaisia. Mahdolliset yksilöiden väliset erot johtuvat ympäristön aiheuttamasta muuntelusta tai yksilössä tapahtuneista mutaatioista. Ellei mutaatiota tapahdu, ovat jälkeläiset perimältään emonsa kopioita eli klooneja. Suvuton lisääntyminen on suvullista lisääntymistä vaivattomampi tapa tuottaa jälkeläisiä. Eliöltä ei kulu energiaa ja aikaa sukusolujen tuottamiseen ja levittämiseen. Siksi vain omista soluistaan jälkeläisiä tuottavat eliöt ovat nopeita lisääntymään. Ne pystyvät valtaamaan uuden elinympäristön tehokkaasti ja mikäli ympäristöolosuhteet pysyvät vakaina, on suvuton lisääntyminen eliölajille usein tehokkain vaihtoehto jälkeläisten tuottamiseen. Jos ympäristö muuttuu voimakkaasti, saattaa koko suvuttomasti lisääntyvä populaatio tuhoutua, koska perinnöllistä muuntelua syntyy mutaatioiden tuloksena vähän ja niiden vaikutukset ilmenevät hitaasti.

Yksisoluiset eliöt lisääntyvät yleensä suvuttomasti. Esimerkiksi bakteerit tuottavat hyvin tehokkaasti jälkeläisiä jakautumalla jopa 20 minuutin välein. Tosin niilläkin esiintyy eräänlaista perintötekijöiden vaihtoa yksilöiden välillä. Monet yksisoluiset eliölajit lisääntyvät myös monistumalla, esimerkiksi yksi malarialoisio tuottaa sisällään satoja identtisiä tumia. Tumien ympärille tulee solulimaa sekä solukalvo ja alkuperäinen solu hajoaa moneksi uudeksi soluksi. Yksisoluiset hiivasienet, joihin kuuluu tavallinen leivinhiiva, lisääntyvät silmikoimalla; soluihin kasvaa kurouma, josta syntyy sen irrottua tytärsolu.

Monisoluisista eliöistä erityisesti kasveilla ja sienillä tavataan itiöiden avulla tapahtuvaa suvutonta lisääntymistä. Siemenkasvitkin kykenevät lisääntymään samasta emoyksilöstä muun muassa rönsyjen, juurimukuloiden, maavarren tai juurivesojen avulla. Myös alkeelliset eläimet, kuten onteloeläimet, sieneläimet ja laakamadot, pystyvät suvuttomaan lisääntymiseen jakautumalla tai silmikoimalla. Rakenteeltaan monimutkaisemmat eläimet eivät kuitenkaan lisäänny suvuttomasti, koska suvuton lisääntyminen vaatii hyvää regeneraatiokykyä eli kykyä korvata menetetyt ruumiinosat uusilla.



Meritähti voi kasvattaa uuden yksilön vaikka irronneesta sakarastaan. Tällainen lisääntyminen edellyttää hyvää regeneraatio- eli uusiutumiskykyä.

Jakautuminen on esitumallisten ja monien tumallisten yksisoluisten eliöiden lisääntymistapa. Kuvassa tohvelieläin jakautuu.

Haapa lisääntyy suvuttomasti juuriversoista.

Evoluution kuluessa eliöille on kehittynyt erilaisia lisääntymisstrategioita

Lisääntyminen on yksi elämän tunnusmerkeistä. Jokaisen eliölajin on säilyäkseen tuotettava riittävästi jälkeläisiä. Lisääntymisessä vanhempien geeniperintö siirtyy seuraavalle sukupolvelle ja samalla varmistuu, etteivät ainoastaan vanhempien, vaan myös lajin ominaisuudet jäävät elämään. Uudet yksilöt paikkaavat kuolleiden yksilöiden populaatioon jättämät aukot ja suotuisissa olosuhteissa ne jopa kasvattavat populaation kokoa. Jälkeläisistä riittävän monen pitää selviytyä lisääntymisikään asti, jotta ne vuorostaan voivat itse tuottaa jälkeläisiä.

Koska jälkeläisten tuottaminen on jokaiselle eliölajille elinehto, evoluution kuluessa on kehittynyt suunnattomasti erilaisia lisääntymisen strategioita. Osa lajeista, kuten esimerkiksi sinivalas, tuottaa vähän jälkeläisiä, mutta pitää niistä pitkään hyvää huolta. Toiset lajit puolestaan tuottavat valtavia määriä jälkeläisiä, joista ainakin jotkut selviytyvät lisääntymisikään saakka. Esimerkiksi kilon painoinen haukinaaras laskee keväisin yli 30 000 mätimunaa, joista kehittyy ainoastaan muutama sukukypsyysiän saavuttava jälkeläinen. Monet lajit käyttävät sekä suvullista että suvutonta lisääntymistä vuorotellen varmistaakseen jälkeläisten suuren määrän ja riittävän perinnöllisen muuntelun. Tätä nimitetään sukupolven vuorotteluksi.

Tuuli tai hyönteiset kuljettavat heteissä muodostunutta siitepölyä emiin, jonka sisällä on munasolu. Jos siitepöly on peräisin saman kukan tai kasvin heteistä kyseessä on itsepölytys. Ristipölytyksessä siitepöly on peräisin saman lajin toiselta kasviyksilöltä. Kuvan kurjenkellon pölytys tapahtuu hyönteisten välityksellä.

Kurjet ovat keväisellä soitimellaan. Hormonit käynnistävät eläinten lisääntymisvietin. Monilla lajeilla parittelua edeltävät monimutkaiset soidinmenot, joiden tarkoituksena on varmistaa pariutuvien yksilöiden kuuluminen samaan lajiin. Monilla eläimillä vahvimmat koiraat pääsevät parittelemaan ja näin siirtämään geenejään seuraaville sukupolville.

Partenogeneesi on lisääntymistä, jossa munasolusta kehittyy uusi yksilö ilman hedelmöitystä.Vesikirppunaaraat tuottavat kesän aikana suotuisissa oloissa runsaasti munasoluja, joista kehittyy ilman hedelmöitystä uusia naaraita. Nämä lisääntyvät kesän aikana samalla tavalla. Syksyllä, lämpötilan laskiessa, osa munasoluista kehittyy koiraiksi. Niiden hedelmöittämistä munasoluista kehittyy talvehtimiskykyisiä lepomunia, jotka kehittyvät seuraavana keväänä uudeksi naarassukupolveksi. Partenogeneesia esiintyy myös monilla kirvalajeilla ja eräillä kasveillakin, kuten voikukalla.

TEHTÄVÄT

1. Muuntelu

a. Miten muuntelu ilmenee yksilöiden välillä?
b. Samaan populaatioon kuuluvien yksilöiden ulkonäkö vaihtelee. Mainitse ainakin kolme syytä, jotka aiheuttavat sen, että esimerkiksi voikukkapopulaation yksilöt ovat erinäköisiä.
c. Miten ruskeavetisen suolammen ahvenpopulaatiot ja kirkasvetisen järven ahvenpopulaatiot poikkeavat toisistaan. Mistä erot johtuvat?

2. Mutaatiot

a. Mitä mutaatioissa tapahtuu?
b. Miksi mutaatioiden aiheuttama muuntelu on tärkeää evoluutiolle?
c. Milloin mutaatiot ovat ainoa perinnöllistä muuntelua aiheuttava tekijä?

3. Suvullinen ja suvuton lisääntyminen

a. Millä perusteella lisääntyminen on suvutonta?
b. Mihin kolmeen asiaan perustuu suvullisen lisääntymisen aiheuttama muuntelu?
c. Vertaa suvullisen ja suvuttoman lisääntymisen etuja ja haittoja. Laadi eduista ja haitoista vertailutaulukko.

4. Yksilön muuntelu

yo k-92

Eliöpopulaatioissa yksilöt poikkeavat usein selvästi toisistaan.

a. Mistä tämä yksilöiden erilaisuus johtuu?
b. Miksi populaatioissa voi kuitenkin esiintyä huomattavan samankaltaisia yksilöitä?

5. Perunakoe

Suunnittele koe, jolla voit osoittaa että perunan ilmiasu voi vaihdella, vaikka perimä pysyy samana. Muista, miten perunaa lisätään.

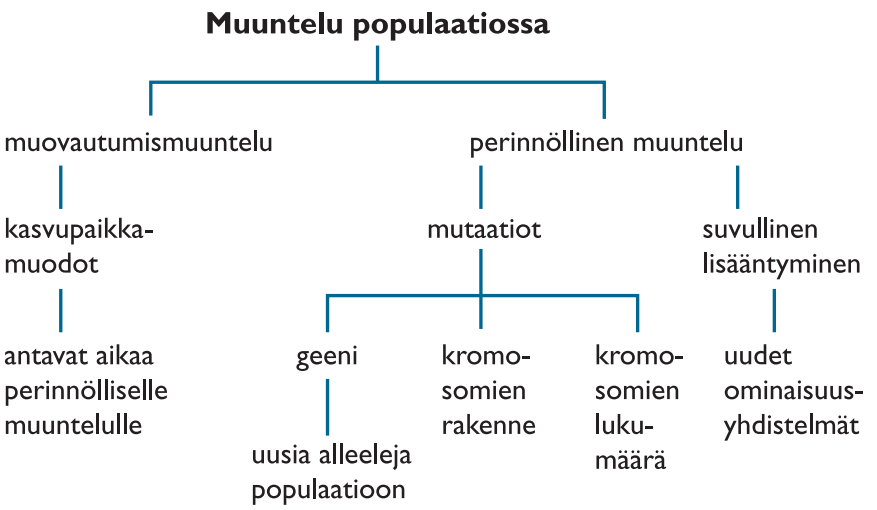
Yhteenveto

Populaatioon kuuluvat kaikki samalla alueella elävät saman lajin yksilöt, jotka voivat lisääntyä keskenään.

Samaan lajiin kuuluvat yksilöt ja populaatiot ovat toisiinsa verrattuna erilaisia eli ne muuntelevat.

Muuntelu mahdollistaa yksilöiden ja populaatioiden sopeutumisen erilaisiin ympäristöihin.

Muuntelu populaatiossa on evoluution perusta.



Avainsanat

alleeli
muovautumismuuntelu
muuntelu
mutaatio
partenogeneesi
perinnöllinen muuntelu
populaatio
suvullinen lisääntyminen
suvuton lisääntyminen

6.

Luonnonvalinta ohjaa evoluutiota

Rusakko on yksi Suomen luonnon tulokaslajeista. Rusakon päälevinneisyysalueella ei ole pitkää lumista talvea, eikä rusakko vaihda kesäkarvaa valkoiseen talvikarvaan, kuten sukulaislajinsa metsäjänis. Suomen nykyisessä rusakkopopulaatiossa ovat yleistyneet yksilöt, joiden karva muuttuu talvella selvästi vaaleammaksi kuin kesällä. Miksi vaalean talvikarvan kasvattavat rusakot ovat yleistyneet?

Luonnonvalinta vaikuttaa populaation perimään

Muuntelun ansiosta populaatiossa esiintyy toisistaan poikkeavia yksilöitä, mikä ilmenee niiden erilaisissa rakenteissa, elintoiminnoissa ja käyttäytymisessä. Populaation sisällä esiintyy tavallisesti kilpailua ja siinä menestyvät parhaiten ne yksilöt, joilla on sen hetkiseen ympäristöön ja olosuhteisiin parhaiten sopeutuva ominaisuuksien yhdistelmä. Parhaiten sopeutuneiden yksilöiden ominaisuudet alkavat yleistyä ja huonommin sopeutuneiden karsiutua. Tätä evoluutiotekijää kutsutaan luonnonvalinnaksi. Luonnonvalinta vaikuttaa vähitellen geenien lukusuhteisiin populaatiossa, koska suurin osa ominaisuuksista periytyy sukupolvelta toiselle. Parhaiten sopeutuvat yksilöt kykenevät tuottamaan muita enemmän lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä ja niiden geenit alkavat yleistyä populaatiossa. Valinta suosii niitä geenejä, jotka lisäävät yksilöiden kelpoisuutta eli fitnessiä. Kelpoisimmilla yksilöillä on siis paras kyky säilyä elossa lisääntymisikään asti ja kyky tuottaa eniten lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä.

Valinta toimii eri tavoin vakaassa ja muuttuvassa ympäristössä

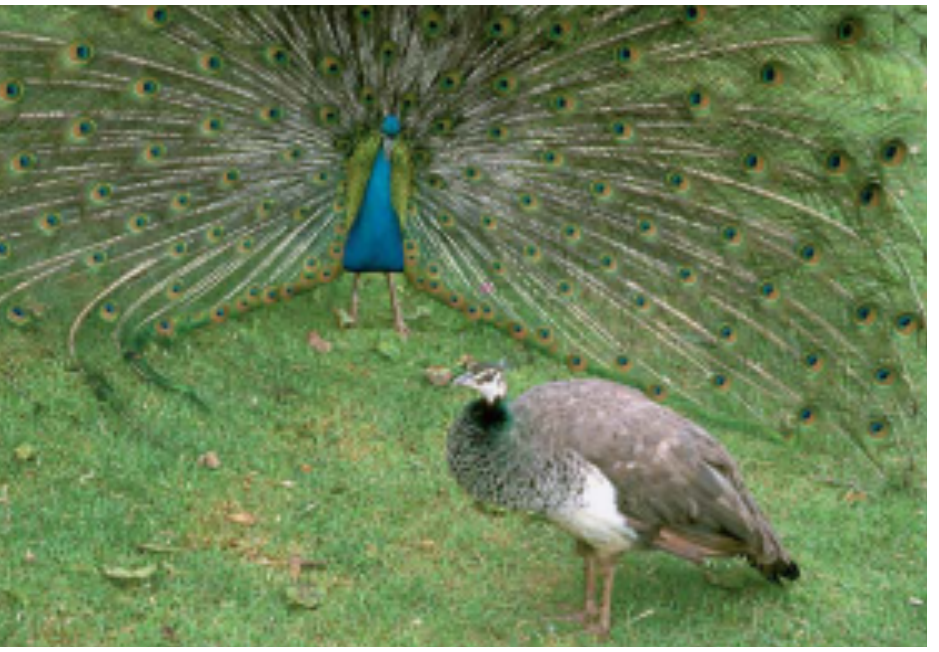
Populaatio ja saman lajin eri populaatiot joutuvat sopeutumaan aina sen hetkiseen elottomaan ja elolliseen ympäristöön. Ympäristöolosuhteet vaihtelevat sekä alueellisesti että ajallisesti. Esimerkiksi Espanjassa ja Suomessa elävien sinisorsien ympäristö asettaa saman lajin yksilöille hyvinkin erilaisia haasteita muun muassa ravinnonhankinnassa ja lämmönsäätelyssä. Myös pienellä alueella tapahtuu jatkuvasti muutoksia, ja jos muutokset ovat pysyviä, sopeutuu populaatio niihin, kun sen perinnöllinen koostumus muuttuu. Luonnonvalinta toimii eri tavoin vakaassa ja muuttuvassa ympäristössä.

Kun ympäristöolosuhteet pysyvät pitkään muuttumattomina, populaatiolla on aikaa sopeutua hyvin elinympäristöönsä. Tällöin valinta karsii keskimääräisestä poikkeavia ääritYyppejä ja suosii ominaisuuksiltaan keskiarvoisia yksilöitä. Tällaista valinnan muotoa kutsutaan tasapainottavaksi valinnaksi. Tasapainottava valinta vähentää muuntelua populaatiossa tai muuntelu pysyy samana, jos ympäristöolosuhteet pysyvät hyvin pitkän aikaa vakaina. Lintujen pesyekokoon vaikuttaa usein tasapainottava valinta, esimerkiksi pajusirkulla parhaan pesimätuloksen tuottaa keskimäärin viiden munan pesye. Tätä vähemmän ja enemmän munia tuottavat parit saavat yleensä keskivertoyksilöitä vähemmän lentokykyisiksi kehittyviä poikasia.

Jos ympäristössä tapahtuu muutoksia tai populaatio siirtyy uudenlaiselle alueelle, keskivertoyksilöt eivät enää ole parhaiten sopeutuneita. Valinta muuttuu näissä tilanteissa suuntaavaksi ja se alkaa suosia muuttuneisiin olosuhteisiin parhaiten sopeutuneita, jakauman toisen ääripään yksilöitä. Samanaikaisesti se karsii voimakkaasti yksilöitä jakauman toisesta päästä. Suuntaavan valinnan seurauksena populaation geenikoostumus muuttuu ja aikaisemmin harvinaisena esiintyneet ominaisuuksien piirteet alkavat yleistyä. Esimerkiksi nokisilla teollisuusalueilla eräiden perhoslajien yksilöt muuttuvat sukupolvi sukupolvelta tummemmiksi, koska tummempi suojaväri antaa paremman suojan saalistavilta linnuilta. Tätä ilmiötä kutsutaan teollisuusmelanismiksi. Myös kotieläinten ja viljelyskasvien jalostus on usein suuntaavaa valintaa, jossa pyritään ihmisiä parhaiten hyödyttävään tulokseen.

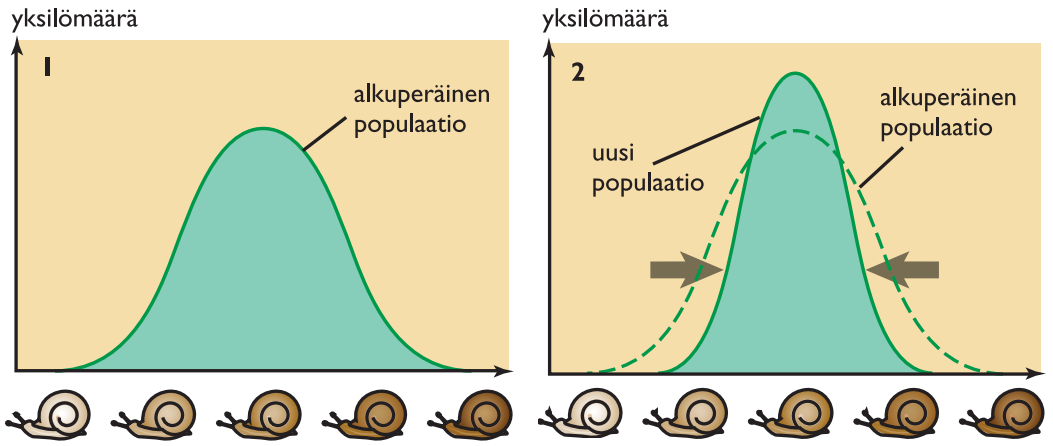
Hajottava valinta vaikuttaa paikoissa, missä olosuhteet populaation elinalueella muuttuvat kahteen tai useampaan eri suuntaan. Tällöin populaation eri osiin kohdistuu erilainen valintapaine. Hajottava valinta suosii populaation ominaisuusjakauman kumpaakin ääripäätä ja se lisää muuntelua.

Eri suuntiin kohdistuva valinta voi hajottaa populaation osiin. Erilaisiin olosuhteisiin sopeutuneet osapopulaatiot voivat aikojen kuluessa kehittyä omiksi lajeikseen. Hajottava valinta on ollut edellytys useimpien samasta kantapopulaatiosta kehittyneiden sukulaislajien syntyyn.



Saman populaation eri sukupuolta oleviin yksilöihin voi kohdistua erilaisia valintapaineita. Esimerkiksi monien lintulajien koiraat ovat värikkäitä ja laulavat hyvin. Koiraiden menestykseen, siis mahdollisuuteen siirtää geenejään seuraaville sukupolville, vaikuttavat naaraiden suosimat näyttävät asut ja onnistuneet soidinmenot. Naaraslintujen taas on tärkeää suojautua pedoilta haudonta-aikana, ja siksi vaatimaton, ympäristöön sulautuva väritys on niille edullista.

Hajottavaa valintaa esiintyy Itämeren rakkoleväkasvuston leväsiirapopulaatioissa. Värimuotojen lukusuhteet vaihtelevat muun muassa rakkolevän kunnon ja värin mukaan.



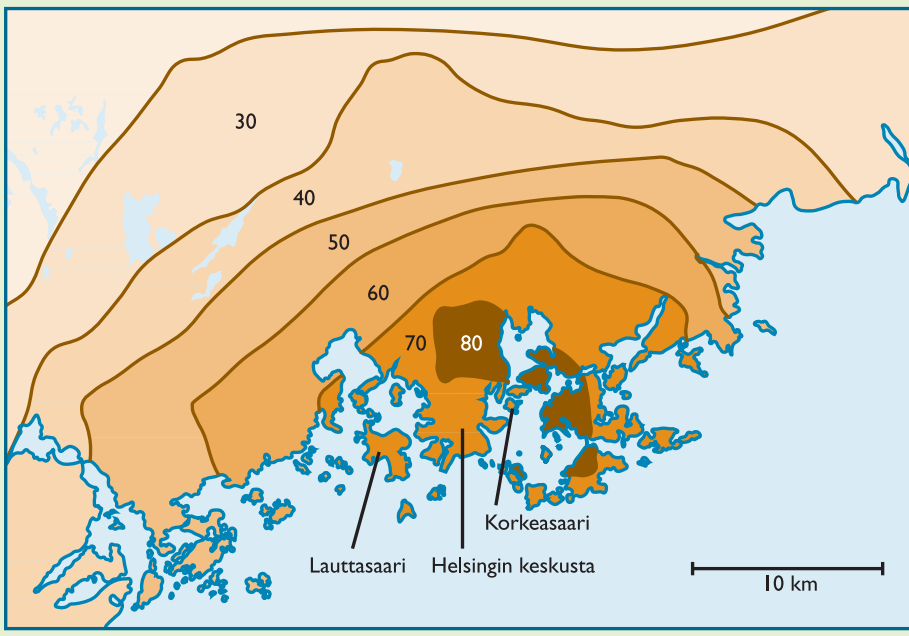
1. *Maakotilopopulaation yksilöiden värit vaihtelevat vaaleista tummiin. Runsaimmin esiintyy väritykseltään keskivertoja yksilöitä.*
2. ***Tasapainottava valinta** pitää huolen siitä, että niiden väri pysyy tietyissä rajoissa. Liian vaaleat tai liian tummat yksilöt joutuvat muita helpommin saaliiksi.*
3. ***Suuntaava valinta** karsii vaaleita ja suosii tummia muotoja ja siirtää samalla jakauman keskiarvoa tumman värityksen suuntaan. Näin käy esimerkiksi ilmansaasteiden liatessa maakotiloiden elinympäristöä.*
4. ***Hajottava valinta** johtaa siihen, että sekä hyvin vaaleat että hyvin tummat yksilöt säilyvät parhaiten. Näin tapahtuu, jos populaatio asuttaa alueen, jossa vaalean hiekkamaan seassa on tummia kallioita.*

TAUSTATIETOA

TEOLLISUUSMELANISMI

Hyvä esimerkki suuntaavasta valinnasta on niin kutsuttu teollisuusmelanismi. Monilla perhoslajeilla, esimerkiksi koivumittarilla ja korsiyökkösillä, on populaatioissaan värimuuntelua, eli sekä väriltään vaaleita että myös tummia, melanistisia muotoja. Asutuksen ja teollisuuden laajetessa on havaittu tummien yksilöiden yleistyvän ja vaaleiden vähenevän. Tummien muotojen runsastumiseen on syynä muun muassa vaaleiden jäkälien häviäminen puiden rungoilta sekä puiden runkojen ja muunkin perhosten elinympäristön tummuminen saasteiden vaikutuksesta. Muuttuneessa ympäristössä tummien perhosten suojaväri on parempi kuin vaaleiden. Siksi niitä säilyy enemmän hengissä ja vaaleat, helpommin erottuvat yksilöt joutuvat saalistavien lintujen ruuaksi. Vähitellen perhospopulaatio muuttuu tummemmaksi, koska tumman värin aiheuttavat geenit tuottavat paremman sopeutumisen saasteiden mustaamaan elinympäristöön. Koivumittarin värimuotojen yleisyyden vaihtelu havaittiin jo kauan sitten Keski-Englannin teollisuusseuduilla. Savupiipputeollisuuden väistyessä ja puhdistusmenetelmien parantuessa ovat vaaleat värimuodot siellä uudelleen yleistyneet.

Karttaan on kuvattu varjokorsiyökkösten tummien (vas.) ja vaaleiden värimuotojen osuudet Helsingin seudulla. Luvut osoittavat tummien värimuotojen prosenttiosuuksia populaatioissa. Kantakaupungissa tummien värimuotojen osuus oli vielä 1990-luvulla yli 80 prosenttia.



Lähde: Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C, 1996:11, YTV

Luonnonvalinta vaikuttaa myös eläinten käyttäytymiseen

Luonnonvalinta suosii eläinpopulaatioissa yksilöitä, jotka paitsi rakenteeltaan ja elintoiminnoiltaan, myös käyttäytymiseltään, sopeutuvat parhaiten elinympäristöönsä. Sopeutuvimmat pystyvät välttämään vaaratilanteita, hankkimaan ravintoa ja lisääntymään muita paremmin. Käyttäytymiseen vaikuttaa sekä hermoston että hormonien toiminta elimistössä. Hermosolujen ja umpirauhasten toimintaa säätelevät puolestaan monet geenit. Monien eläinten perintötekijöissä on lisäksi käyttäytymistä ohjaavia geenejä, joiden mukaan eläinten hermostoon on rakentunut tietynlainen käyttäytymisohjelma. Se antaa eläimelle suuren määrän toimintavalmiuksia erilaisiin tilanteisiin. Käyttäytymisohjeet siirtyvät seuraavalle sukupolvelle samalla tavoin geenien mukana kuin muutkin ominaisuudet. Suurin osa eläinten käyttäytymisen kirjosta on siis perittyä.

Käyttäytymiseen vaikuttavissa geeneissä voi tapahtua mutaatioita, jolloin käyttäytymistoiminnot muuttuvat. Jos muutos tuottaa käyttäytymismallin, joka edistää sopeutumista, yleistyvät muuttuneet perintötekijät populaatiossa ja aiempi käyttäytymismalli vähitellen häviää. Jos esimerkiksi lintujen talvehtiminen pesimäalueella aiheutuu käyttäytymistä ohjaavista perintötekijöistä ja täällä talven yli selvinneet yksilöt pääsevät valtaaman parhaat pesimäreviirit varmistaen siten tehokkaamman poikastuoton, saattaa muuttokäyttäytyminen hiljalleen hävitä populaatiosta. Riskinä on kuitenkin tuhoisan kylmä talvi.

Lintujen muutto on käyttäytymissopeutuma ankaraan vuodenaikaisvaihteluun. Muuttomatkan riskit ja rasitukset ovat usein pienempi vaara kuin kylmyys ja ravintopula. Toisaalta täällä talven sinnitelleet yksilöt ehtivät usein vallata keväällä parhaat pesimäreviirit. Menestyksen mittana on lisääntymisikään saatujen jälkeläisten määrä. Kuvassa palelee Suomessa talvehtiva punarinta.

Oppimiskyky parantaa eläinten sopeutumismahdollisuuksia myös muuttuvissa oloissa. Parhaita oppijoita ovat linnut ja nisäkkäät.

TEHTÄVÄT

1. Luonnonvalinta

Mitkä alla olevista väittämistä sopivat 1. tasapainottavaan, 2. suuntaavaan ja 3. hajottavaan valintaan?

a. Vaikuttaa geenien lukusuhteisiin populaatiossa.
b. Lisää muuntelua populaatiossa.
c. Johtuu populaation yksilöiden välisestä kilpailusta.
d. Suosii keskivertoyksilöitä populaatiossa.
e. Suosii kelpoisimpia yksilöitä populaatiossa.
f. Voi jakaa alkuperäisen populaation osapopulaatioiksi.
g. Suosii muuttuneisiin olosuhteisiin parhaiten sopeutuneita, aikaisemmin harvalukuisia yksilöitä.

2. Superrotat

Rotat ovat ihmisen kannalta haitallisia eläimiä, koska ne tuhoavat ruokavarastoja ja levittävät sairauksia. Kautta historian ihminen on pyrkinyt pääsemään niistä eroon. 1950-luvulla keksittiin tehokas, varfariiniksi nimetty rotanmyrkky. Nykyisin monet rottapopulaatiot ovat vastustuskykyisiä eli resistenttejä tälle myrkylle. Miksi?

3. Valinta ohjaa evoluutiota

yo s-04

Valinta on merkittävin evoluutiota ohjaavista luonnonvalinnan voimista.

a. Nimeä luonnonvalinnan tyypit ja selvitä perustellen niiden vaikutusta populaatioissa.
b. Havainnollista valintatyyppejä piirtämällä kustakin diagrammit, joista ilmenee valinnan vaikutus normaalijakaumaa kuvaavaan muuntelukäyrään.

4. Joutsenen talvehtiminen

Lue oheinen *Savon Sanomien* juttu ”Joutsen pystyy talvehtimaan Lapissa” ja vastaa kysymyksiin a–e.

a. Miksi laulujoutsenen talvehtimisalueella pitää olla sulaa vettä?
b. Miksi joutsen pystyy periaatteessa menestymään Suomen kylmässä talvessa?
c. Miten laulujoutsen hyötyy siitä, jos se jää talvehtimaan Suomeen?
d. Onko kyse opitusta vai peritystä (= geenien välityksellä siirtyvästä) käyttäytymisestä?
e. Miksi Suomessa talvehtivien laulujoutsenten määrä saattaa kasvaa?

Joutsen pystyy talvehtimaan Lapissa

Elossa selviämisen ehtona on riittävän suuri sula.

ENONTEKIÖ

Marjukka Talvitie/STT

Laulujoutsen pystyy selviytymään hengissä Lapin karuissa olosuhteissa talvenkin ylitse. Lappilaiset lintuharrastajat ovat viime vuosina havainneet useita tapauksia, joissa joutsen on pinnistellyt sulapaikassa läpi pakkasen ja lumisateen.

Joutsen pärjää pakkasillakin.

Joutsenten muutto etelään on pikkuhiljaa päättymässä. Enontekiöläisen, lintulaskentaa 15 vuotta tehneen ornitologin **Pirkka Aallon** mukaan joutsenet saa matkaan vesien jäätyminen. Joskus muuttomatkalle lähtö kuitenkin lykkääntyy, varsinkin jos linnun alla oleva vesi pysyy sulana. Kun etelään lähtö siirtyy kunnon pakkasten alkuun, voi empijäjoutsen lopulta jäädä paikalleen. Lentomatka liian kylmällä on riski, jota eläin ei luonnostaan ota, Aalto sanoo.

– Tänne jäävät yksilöt ovat joskus nuoria joutsenia, joiden lentokyky ei vielä riitä muuttomatkaan. Useimmat talvehtijat ovat havaintojen mukaan kuitenkin olleet aikuisia, kokeneita lintuja, Aalto kertoo.

Pariskuntana talvehtineita joutsenia ei Lapissa ole tavattu. Muiden kuin lentoon kykenemättömien nuorten talvehtijoiden motiiveja ei tiedetä. Hyväkuntoisten konkareiden päätös Lappiin jäämisestä on mielenkiintoinen mysteeri.

– Joutsen on älykäs lintu. Ehkä se tietää, että muuttomatka on aina

→

riski. Viisaana se saattaisi myös hoksata, että lähellä pesintäpaikkaa talvehtiva lintu on keväällä hyvissä asemissa pesinnän alkaessa, Aalto pohtii pilke silmäkulmassa.

Lapissa onnistuneesti talvehtineita joutsenia on Aallon mukaan tiedossa usealta viime vuodelta. Tapauksia on kirjattu muun muassa Ranuan Kaitavirralta, Ylitornion Pessalompolosta ja Sodankylän Kukasjärveltä. Pohjoisin talvehtiminen on onnistunut Inarissa.

– Inarin Kettujoella vietti koko talven 1999–2000 vanha joutsen, joka oli rengastettu Puolangalla vuonna 1996, Aalto kertoo.

Joutsenella on mahdollisuudet pärjätä, sillä sen lämmikkeenä ovat rasvakerros ja paksu untuva- ja höyhenpeite.

– Silti talvehtiminen on joutsenellekin aikamoinen suoritus. Selviämisen ensimmäinen ehto on, että se saa ravintoa, eli sen talvehtimispaikka pysyy sulana koko talven.

Sulan on oltava myös riittävän suuri ja matala, jotta veden pohjasta löytyy vesikasveja linnun nyhdettäväksi useiden kuukausien ajan. Jos talvehtivaa joutsenta haluaa auttaa, voi sitä ruokkia viljan jyvillä. Linnun jalkojen kiinni jäätymisestä ei tarvitse olla huolissaan, sillä sitä tapahtuu todella harvoin.

– Jos joutsenella on kuitenkin selvästi hätä, kannattaa siitä soittaa poliisille. Pelastustoimella ja poliisilla on tarvittavat välineet sulalla liikkumiseen. Talvella pelastetut, huonokuntoiset joutsenet saavat kodin useimmiten Ranuan eläinpuistosta, Aalto kertoo.

Kaikille joutsenille ei kuitenkaan käy hyvin. Talven uuvuttamia lintuja on löydetty Aallon mukaan lähes vuosittain.

Jos ennustukset ilmaston lämpenemisestä ja Pohjois-Suomen talvien lauhtumisesta toteutuvat, saattaa joutsenten talvehtimisesta tulla poikkeuksen sijaan uusi käyttäytymismalli.

Savon Sanomat 15.11.2004.

Yhteenveto

Luonnonvalinta suosii rakenteeltaan, elintoiminnoiltaan ja käyttäytymiseltään parhaiten ympäristöönsä sopeutuneita yksilöitä.

Valinta kohdistuu niihin geeneihin, jotka lisäävät yksilöiden kelpoisuutta eli fitnessiä.

Kelpoisuus ilmenee kykynä saada keskimääräistä enemmän lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä.

Vallitseviin oloihin parhaan sopeutumisen tuottavien perintötekijöiden osuus populaatiossa lisääntyy ja populaatio muuttuu eli tapahtuu evoluutiota.

Tasapainottava valinta suosii ominaisuuksiltaan keskivertoyksilöitä.
Sitä esiintyy, jos ympäristöolosuhteet pysyvät muuttumattomina.

Suuntaava valinta suosii uusiin ympäristöolosuhteisiin parhaiten sopeutuvia, aikaisemmin huonosti menestyneitä ääripään yksilöitä.

Hajottava valinta suosii populaation eri osissa erilaisia yksilöitä.
Sitä esiintyy, kun ympäristöolot poikkeavat suuresti populaation asuinalueen eri osissa.

Hajottava valinta voi johtaa erilaisiin olosuhteisiin sopeutuneisiin osapopulaatioihin ja vähitellen uusien lajien syntyyn.

Avainsanat

fitness eli kelpoisuus
hajottava valinta
luonnonvalinta
sopeutuminen
suuntaava valinta
tasapainottava valinta

7.

Populaatioista voi syntyä vähitellen uusia lajeja

Jokainen meistä pystyy tunnistamaan joitakin kasvi-, eläin- ja sienilajeja. Erotamme helposti punakärpässienen ja herkkutatin toisistaan, samoin talitiaisen varpusesta. Talitiaisen ja kuusitiaisen tai männynherkkutatin ja herkkutatin erottaminen toisistaan on jo vaikeampaa. Onko kaksi toisiaan muistuttavaa lajia kuulunut joskus yhteen ja samaan lajiin?

Mikroevoluutiossa laji muuttuu ja makroevoluutiossa syntyy uusia lajeja

Kaikki maapallolla tavattavat miljoonat eliölajit, ja myös kaikki jo sukupuuttoon kuolleet lajit ovat evoluution tulosta. Evoluutiolla tarkoitetaan lajinkehitystä, missä eliölajit muuttuvat ja niistä voi kehittyä uusia lajeja. Evoluutio on jatkunut koko maapallon olemassaolon ajan, ja sen ansiosta kaikkialla maapallolla elää erilaisiin elinympäristöihin sopeutuneita lajeja. Evoluutio on saanut aikaan maapallomme nykyisen biologisen monimuotoisuuden.

Uuden lajin synty eli lajiutuminen käynnistyy usein siten, että saman lajin yksilöt alkavat eristyä toisistaan erillisiksi populaatioksi. Eri populaatioihin kohdistuu erilaiset valintapaineet, ja ne alkavat kehittyä omiin suuntiinsa sopeutuen paikallisiin ympäristöoloihin. Mutaatiot muuttavat kunkin populaation geenivarastoa, ja luonnonvalinta suosii kussakin populaatiossa erilaisia ominaisuuksia ja sitä kautta niihin vaikuttavia geenejä. Tätä ilmiötä, jossa saman lajin populaatiot muuttuvat perimältään vähitellen erilaisiksi sanotaan mikroevoluutioksi.

Kun kaksi tai useampi samaan lajiin kuuluvaa populaatiota on kehittynyt niin erilaisiksi, että niiden jäsenet eivät voi saada keskenään lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä, on syntynyt uusia lajeja. Uusien lajien syntyyn johtavaa evoluutiota kutsutaan makroevoluutioksi. Se on seurausta eri populaatioiden mikroevoluutiosta. Uuden lajin synty kestää yleensä kauan, tuhansia vuosia ja on pitkän erilaistumiskehityksen tulosta. Joskus perintötekijöissä tapahtuu niin suuria muutoksia, että tuloksena on täysin uudenlaisia rakenteita ja rakennekaavoja. Tällöin voi syntyä suhteellisen nopeasti jopa uusia pääjaksoja. Uudet rakenteet kuitenkin kehittyvät jo olemassa olevan pohjalta, ja mitä tahansa muotoja ei voi syntyä. Näin evoluutio ei voi palata taaksepäin.

Usein sukulaislajien erottaminen toisistaan ja lajin rajaaminen on vaikeaa. Joskus lajin yksilöt voivat pariutua lähilajiin kuuluvan yksilön kanssa ja tuottaa lisääntymiskykyisiä jälkeläisiäkin. Esimerkiksi leijona ja tiikeri eivät normaalisti risteydy, mutta tarhattuina ne saadaan lisääntymään ja niiden jälkeläisetkin pystyvät toisinaan tuottamaan jälkeläisiä. Tämä on todiste siitä, että tiikerien ja leijonien kehityslinja on eronnut toisistaan vasta vähän aikaa sitten. Luonnossa nämä lajit eivät kuitenkaan lisäänny keskenään.

Itä-Afrikan Viktorianjärvi on laaja ja monipuolinen elinympäristö, jonne on kehittynyt yli kolmesataa erilaista kirjoahvenlajia. Kukin laji on erikoistunut omaan ravinnonhankintatapaansa ja sopeutunut järvessä omaan ekologiseen lokeroonsa.

Leijonauroksen ja naarastiikerin risteymää kutsutaan leikeriksi.

Isolaatio estää geenivirran ja edistää lajiutumista

Toisistaan erilleen joutuneita saimaannorppaa, itämerennorppaa ja laatokannorppaa pidetään Jäämeren norpan alalajeina. Niiden väri, koko, kallon rakenne ja käyttäytymistavat ovat hieman erilaisia. Norppien erilaistumisen oletetaan etenevän niin pitkälle, että ne kehittyvät omiksi lajeikseen joskus tulevaisuudessa.

Muuntelun ja siihen kohdistuvan luonnonvalinnan ohella populaation evoluutioon vaikuttavat saman lajin toiset populaatiot. Populaatioon tulevat ja siitä lähtevät yksilöt vaikuttavat populaation geneettiseen koostumukseen tuomalla ja viemällä mukanaan perintötekijöitään. Näin käy esimerkiksi eläinten vaeltaessa uusille asuinalueille tai kasvien siementen kulkeutuessa poikkeuksellisen kauas lajin normaalilta levinneisyysalueelta. Ilmiötä kutsutaan geenivirraksi ja sen vaikutuksesta populaatioiden väliset erot yleensä vähenevät.

Uusien lajien syntyminen edellyttää, että populaation yksilöiden tai eri populaatioiden välille muodostuu lisääntymiseste, joka lopettaa niiden välisen geenivirran. Useimmiten geenivirran katkaisee maantieteellinen isolaatio, joka voi johtua populaatioiden välillä olevasta merestä, vuoristosta, aavikosta tai jäätiköstä. Esteet vaikeuttavat yksilöiden siirtymistä populaatiosta toiseen ja vähentävät tai tyrehdyttävät perintötekijöiden siirtymisen populaatioiden välillä. Myös ihminen voi toimillaan eristää populaatioita. Esimerkiksi moottoritiet voivat katkaista etanoiden kulkureittejä.

Jos erilleen joutuneiden populaatioiden elinympäristöt muuttuvat erilaisiksi, luonnonvalinta suosii ja karsii kummassakin geeniperimältään erilaisia yksilöitä. Tämä johtaa populaatioiden kehittymiseen

Laji jakautuu kahdeksi tai useammaksi alalajiksi ja vähitellen uusiksi lajeiksi usein jonkin maantieteellisen esteen takia. Eräs perhoslaji eli laajalla alueella rannikolta sisämaahan. Ilmaston kylmenemisen johdosta alueen korkeimmat kohdat peittyivät jäähän ja lumeen. Rannikon ja sisämaan olosuhteet muuttuivat erilaisiksi. Perhoslajissa esiintyi muuntelua, ja valinta suosii eri alueilla eri ominaisuuksia. Siksi niissä eläneet populaatiot kehittyivät ajan kuluessa eri suuntiin. Kun jäätikkö sitten ajan saatossa hävisi, pääsivät sisämaan ja rannikon perhoset levittäytymään samoille alueille. Lajiutuminen oli kuitenkin johtanut siihen, että ne eivät pystyneet enää lisääntymään keskenään.

eri suuntiin. Kun aikaa on kulunut riittävän monen sukupolven ajan, ovat populaatiot muuttuneet geneettisesti varsin erilaisiksi. Erillään olevien populaatioiden yksilöille on kehittynyt erilaisia rakenteellisia ja käyttäytymiseen liittyviä eroja. Ne estävät yksilöitä risteytymästä keskenään, vaikka maantieteellinen isolaatiomekanismi poistuisi. Tällöin yhdestä lajista on kehittynyt kaksi eri lajia.

Lisääntymisesteitä (isolaatiomekanismeja)

1. Populaatiot elävät eri alueilla (maantieteellinen isolaatio).
2. Populaatiot elävät erilaisissa elinympäristöissä (esimerkiksi metsässä ja suolla).
3. Lisääntymisajat osuvat eri vuoden- ja vuorokauden aikoihin.
4. Soidinkäyttäytymiset ovat niin erilaisia, etteivät eri populaatioiden koiraat ja naaraat parittele keskenään.
5. Sukuelinten tai kukkien rakenne-erot estävät parittelun tai siitepölyn kulkeutumisen.
6. Sukusolut hylkivät toisiaan tai eivät yhdisty.
7. Hedelmöitys tapahtuu, mutta alkio ei kehity normaalisti.
8. Risteymä on steriili.
9. Risteymien mahdollisten jälkeläisten lisääntymiskyky on alentunut.

Suomessa ja Venäjän Karjalassa elävä metsäpeura, Etelä-Norjan tunturipeura, Huippuvuorten peura ja Pohjois-Amerikan karibu kuuluvat kaikki samaan lajiin (Rangifer tarandus), mutta elinympäristöjen erilaisuuden ja risteytymisesteiden takia ne ovat kehittyneet omiksi alalajeikseen. Poro on tunturipeuran puolikesy muoto ja risteytyy usein poronhoitoalueelle levinneiden metsäpeurojen kanssa. Näiden alalajien jälkeläiset ovat vielä keskenään lisääntymiskykyisiä, joten lajiutuminen on vasta alullaan.

Metsäpeura

Poro

Karibu

Endeemisiä lajeja tavataan vain eristyneillä alueilla

Kaukana mantereista sijaitsevien saarten, laajojen jäätiköiden toisistaan erottamien alueiden tai vuorten ympäröimien laaksojen eläimistössä on lajeja, joita ei tavata missään muualla maapallolla. Tällaisia tietyllä, usein suppealla alueella esiintyviä lajeja kutsutaan kotoperäisiksi eli endeemisiksi lajeiksi.

Madagaskar, Australia ja Uusi Seelanti ovat olleet 50–70 miljoonaa vuotta erillään muista maa-alueista. Havaiji ja Galapagossaaret ovat syntyneet keskelle merta vulkaanisen toiminnan tuloksena. Pitkään jatkuneen isolaation takia niiden eliölajistossa on monia vain näillä alueilla eläviä lajeja. Esimerkiksi Madagaskarin kaikki kaksikymmentä jyrsijälajia ovat endeemisiä eli niitä ei tavata missään muualla. Saaren nisäkkäisiin kuuluu runsaasti puoliapinoita, joista nelisenkymmentä lajia elää vain Madagaskarilla.

Australian alkuperäisen eläimistön erityispiirre on monilajinen pussieläimistö. Koska paremmin selviytyviä istukallisia nisäkkäitä ei ollut kilpailemassa elintilasta, Australiassa kehittyi kaikkiin alueelta löytyviin ekolokeroihin sopeutuneita pussieläinlajeja. Suuria kasvissyöjiä vastaavat kengurut, ja myös jyrsijöille, hyönteissyöjille ja petonisäkkäille on kehittynyt vastaavanlaisia pussieläinlajeja.

Fennoskandian pohjoisosissa elävää tunturisopulia voidaan pitää endeemisenä lajina. Laajalla alueella, Vienanmereltä itään elää toinen sopulilaji, siperiansopuli. Sopulit kehittyivät omiksi lajeikseen mannerjään toisistaan erottamista populaatioista.

Kädellisiin kuuluva sormieläin on kissan kokoinen Madagaskarin bambumetsien asukas.

Galapagossaarilla elää endeemisiä jättiläiskilpikonnia.

Sattumakin voi vaikuttaa lajiutumiseen

Sattuma vaikuttaa lajiutumiseen erityisesti pienissä populaatioissa, joissa se voi olla joskus valintaa ja isolaatiota nopeampi ja voimakkaampi evoluutiotekijä. Luonnonmullistukset, kuten tulivuorenpurkaukset, vuoristojen lumivyöryt tai valtamerten hyökyaallot, voivat sattumalta tuhota suuren osan jostakin populaatiosta. Tällöin jäljelle jääneet yksilöt muodostavat alun tuleville sukupolville, mutta niiden geeniyhdistelmät eivät välttämättä ole kyseisissä olosuhteissa parhaita mahdollisia. Siksi kehitys voi pysähtyä tai hidastua, mutta se voi myös joskus johtaa yllättäviin suuntiin. Ilmiöstä käytetään nimitystä geneettinen ajautuminen tai satunnaisajautuminen. Populaatio ikään kuin ajautuu jäljelle jääneiden geeniyhdistelmien määräämään suuntaan. Näin pienikin populaatio voi muodostaa alun uudelle lajille.

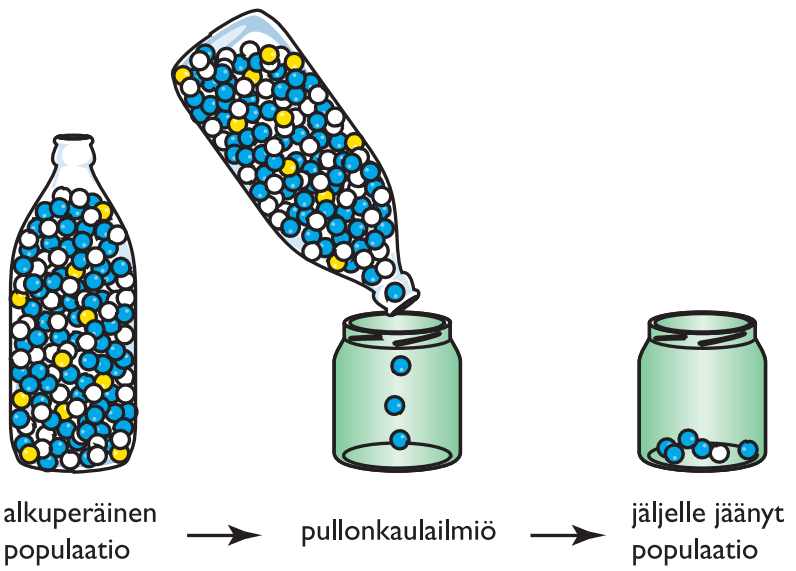
Esimerkki satunnaisajautumisesta on Suomen hirvikannan kehitys. Uroshirvillä esiintyy kaksi perintötekijöiden määräämää sarvityyppiä. Sata vuotta sitten meillä esiintyi sekä leveitä lapiosarvia että kapeampia hankosarvia kantavia hirviä. 1900-luvun alkupuolella maamme hirvet metsästettiin lähes sukupuuttoon. Rauhoituksen turvin vahvistumaan lähtenyt kanta sai alkunsa pienestä populaatiosta, jossa oli vain hankosarvisia yksilöitä. Tästä syystä vielä nykyisinkin pääosa hirvistämme on hankosarvisia. Venäjällä ja Ruotsissa lapiosarvinen kanta säilyi.

Hirviuroksilla on joko lapiomaisesti tai hankomaisesti haaroittuvat sarvet. Nykyinen hirvikantamme on lähinnä Parkanon alueella säilyneen pienen hankosarvisen kannan jälkeläisiä. Siksi viereisen kuvan lapiosarviset uroshirvet ovat harvinaisia.

Meidän hirvipopulaatiossamme nykyisin tavattavat lapiosarvet ovat saaneet perintötekijänsä naapurimaista tulleen geenivirran mukana. Tällaista tapahtumaa, jossa populaation yksilöiden määrä luonnonkatastrofin tai ihmisen vaikutuksesta kutistuu tilapäisesti muutamaan yksilöön, kutsutaan pullonkaulailmiöksi.

Uudelle alueelle syntyvä populaatio saa joskus alkunsa vain muutamasta yksilöstä. Jos alueen olosuhteet ovat suotuisat, voi populaatio kasvaa suureksikin. Myös tällöin populaation perintötekijäyhdistelmät ovat seurausta lähinnä sattumasta eivätkä luonnonvalinnasta. Suomalaisten ja monien muidenkin pienestä alkuväestöstä kasvaneiden eristyneiden ihmispopulaatioiden kansantaudit ja esimerkiksi eräiltä Amerikan alkuperäiskansoilta puuttuvat B- ja AB-veriryhmät selittyvät tällaisella sattumalla. Tätä ilmiötä kutsutaan perustajanvaikutukseksi.

Uuden lajin syntyminen on yleensä hidas ja monivaiheinen tapahtuma. Joskus uusi kasvilaji voi kuitenkin syntyä nopeastikin ilman vähittäistä erilaistumista, valintaa ja isolaatiomekanismeja. Näin käy, jos lähisukuiset kasvilajit risteytyvät ja jälkeläisistä tulee lisääntymiskykyisiä. Esimerkiksi karheapillike on kirjopillikkeen ja karvapillikkeen risteymä. Myös ruis ja vehnä risteytyvät helposti, mutta tällöin jälkeläinen on tavallisesti steriili, eli lisääntymiskyvytön. Kromosomistojen moninkertaistuminen, olivatpa ne sitten peräisin samasta lajista tai kahdesta eri lajista, on kasveilla tärkeä evoluutiotekijä. Arviolta 25–50 prosentilla maapallon kukkakasveista on moninkertaistunut, polyploidinen kromosomisto. Suomessa vastaava luku on yli 60 prosenttia.



Taudit, loiset tai jokin muu katastrofi voivat tuhota suuren osan populaatiosta. ”Pullonkaulasta” selviytyneet yksilöt geeneineen ovat uuden populaation alku.

Karheapillike

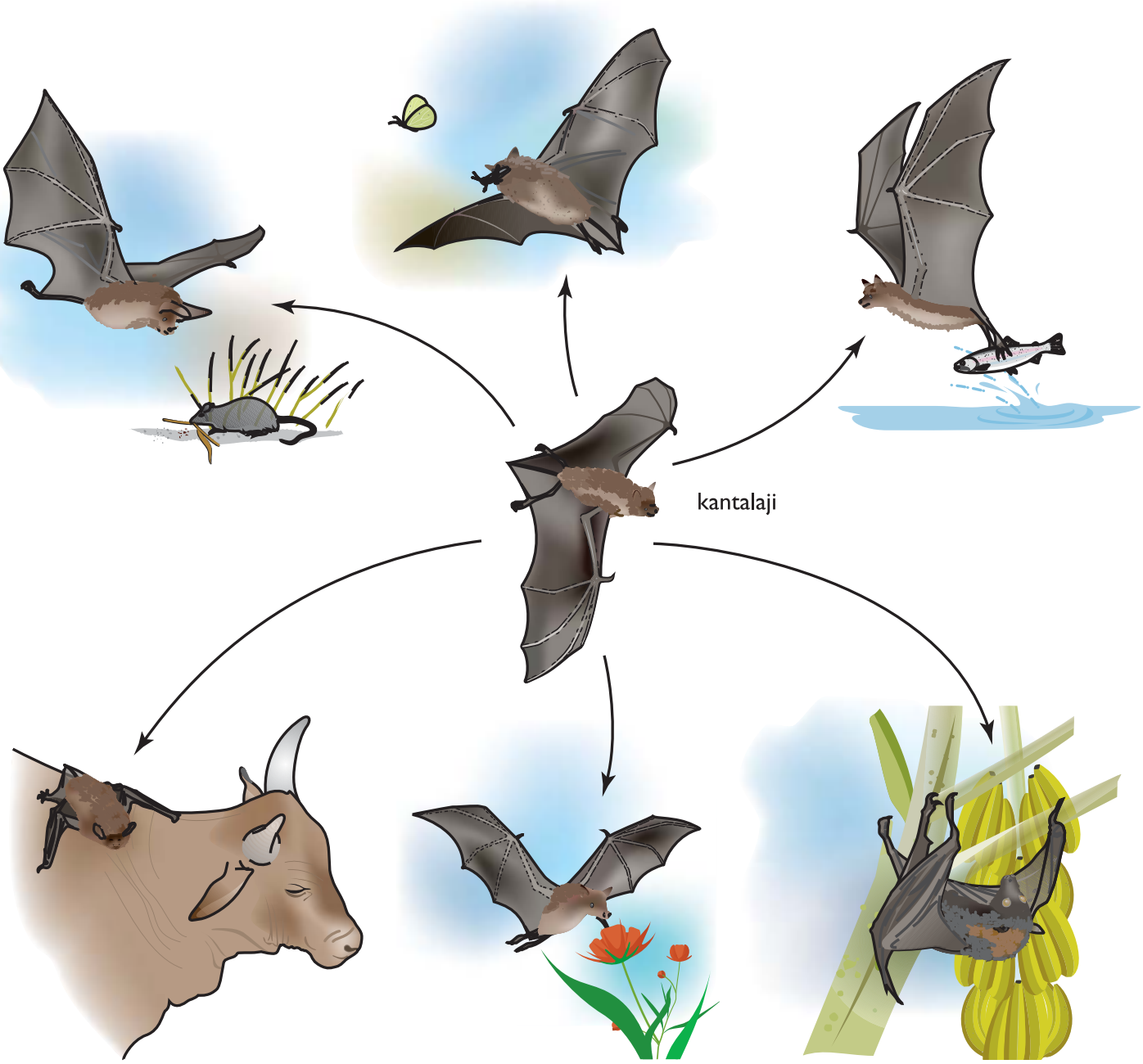
Peltopillike

Karheapillike (Galeopsis tetrahit) ja peltopillike (G. bifida) ovat syntyneet kirjopillikkeen (G. speciosa) ja karvapillikkeen (G. pubescens) risteytyminä. Ne ovat lisääntymiskykyisiä, koska niiden kromosomistot ovat kaksinkertaistuneet. Lajien väliset erot ovat vähäisiä, mutta kukkien rakenne poikkeaa kuitenkin sen verran, että nämä lajit eivät risteydy keskenään.

Sopeutuminen ja sopeutumislevittäytyminen

Sopeutumisella ja sopeutumilla tarkoitetaan sellaisia muutoksia eliön rakenteessa tai toiminnassa, jotka antavat sille paremman mahdollisuuden tulla toimeen ympäristössään. Luonnonvalinta karsii populaatioista ne yksilöt, jotka pärjäävät vallitsevissa olosuhteissa huonosti. Jotkut yksilöt eivät kestä pitkiä kuivia kausia, toiset menehtyvät toisia helpommin kylmänä vuodenaikana. Tällainen pitkän aikaa populaatioon kohdistunut valinta tuottaa lopulta sellaisia geeni- ja ominaisuusyhdistelmiä, jotka ovat parhaita vallitsevissa oloissa. Populaatio on silloin sopeutunut tiettyihin olosuhteisiin. Sopeutuminen on populaation ja lajin hengissä pysymisen edellytys.

Sopeutumislevittäytymisellä kuvataan suhteellisen nopeasti tapahtuvaa samaa alkuperää olevien lajien kehittymistä ja levittäytymistä. Joskus pieni joukko jonkin lajin yksilöitä levittäytyy kokonaan uudelle alueelle, missä ei esiinny juurikaan kilpailua ja vapaita ekologisia lokeroita on runsaasti tarjolla. Näin yhdestä kantalajista voi kehittyä hajottavan valinnan seurauksena osapopulaatioita, jotka alkavat kukin sopeutua omiin ympäristöihinsä. Osapopulaatioiden



Lepakot luokitellaan suurlepakoihin ja pienlepakoihin. Erityisesti pienlepakoiden ryhmässä on tapahtunut sopeutumislevittäytymistä. Monet lajit ovat sopeutuneet käyttämään hyvin erilaista ravintoa, kuten kalaa, nisäkkäiden verta, hyönteisiä tai hedelmiä. Mitä pitemmälle ne erikoistuvat omiin ekolokeroihinsa, sitä erilaisemmiksi ne muuttuvat.

geenikoostumus muuttuu erilaiseksi ja ne kehittyvät ensin alkuperäisen lajin eri alalajeiksi ja vähitellen kokonaan uusiksi lajeiksi.

Sopeutumislevittäytyminen edellyttää yleensä jonkin uuden elämäntavan tai elinympäristön valtauksen mahdollistavan avainsopeutuman kehittymistä. Lintujen kehitys on hyvä esimerkki sopeutumislevittäytymisestä. Tärkein avainsopeutuma, joka mahdollisti ilman valloituksen, oli lentokyky. Lentämisen teki mahdolliseksi eturaajojen kehittyminen siiviksi sekä höyhenpeite. Höyhenet ovat samaa alkuperää kuin matelijoiden suomut. Alkionkehityksen aikana ihon solukerroksen pullistumista muodostuu kuitenkin suomujen sijaan höyheniä, joista osaa lintu pystyy käyttämään lentämiseen. Ensimmäisen linnun ilmaannuttua maapallolle siitä kehittyi monissa erilaisissa elinympäristöissä menestyviä siivekkäitä, kuten yöllä myyriä saalistavia pöllöjä, yläilmassa hyönteisiä pyydystäviä tervapääskyjä tai trooppisessa sademetsässä kasvien mettä imeviä kolibreja. Vastaavanlaista sopeutumislevittäytymistä tavataan kaikista eliöryhmistä. Avainsopeutuma antaa lajille tai jollekin eliöryhmälle valintaedun ja edistää näin sen leviämistä laajalle alueelle tehokkaasti.

Sopeutumislevittäytymisen käynnistymistä edeltävät usein suuret ilmaston- ja ympäristönmuutokset. Myös edeltävien eliöryhmien laajamittainen sukupuuttoon kuoleminen tai lajin siirtyminen uusille alueille tai uusiin ekologisiin vyöhykkeisiin, joissa sille on tarjolla useita erilaisia ekologisia lokeroita, voi toimia sysäyksenä sopeutumislevittäytymiselle.

Nykyisen evoluutiokäsityksen pohjana ovat Charles Darwinin päätelmät

Vuonna 1858 luettiin Lontoossa luonnontieteellisen Linnean Society -seuran kokouksessa kaksi esitelmää, jotka käsittelivät lajien muuttumista ja uusien lajien syntyä luonnonvalinnan vaikutuksesta. Esitelmän pitäjät, Charles Darwin ja Alfred Wallace, julkistivat teorian biologisesta evoluutiosta ja runsaasti siihen liittyvää todistusaineistoa. Nämä esitelmät ja Darwinin vuotta myöhemmin julkaisema kirja ”Lajien synty luonnollisen valinnan vaikutuksesta” muuttivat biologien käsityksiä elämän synnystä ja mullistivat muutenkin aikalaisten maailmankuvaa. Tapahtumasta alkoi nykyinen

Ensimmäisen luonnontieteellisesti ehjän selityksen evoluutiosta antoi Jean Baptiste Lamarck vuonna 1807. Lamarckin evoluutiomekanismin selitys oli yksinkertainen. Vanhemmat saavat elinikänsä aikana taitoja ja ominaisuuksia, jotka periytyvät sitten jälkeläisille. Hänen kuuluisin esimerkkinsä oli kirahvi: Kirahvi oppii elinikänsä aikana venyttämään kaulaansa yhä pidemmäksi, jotta se ylettyisi syömään akaasiapuun ylimpiä lehtiä. Tämä ominaisuus periytyy jälkeläisille, jotka venyttävät kaulaansa vielä pidemmälle. Darwinin evoluutioteoria kuitenkin kumosi tämänkaltaiset tulkinnat. Darwinin mukaan kirahvien kaulan pituus muuntelee. Pitkäkaulaiset yksilöt saavat riittävästi ravintoa lehvästöstä, ja näin ne lisääntyvät tehokkaammin kuin lyhytkaulaiset. Näin jälkeläisissä yleistyy pitkäkaulaisuuden piirre. Monen sukupolven jälkeen luonnonvalinnan seurauksena kaikki kirahvit ovat pitkäkaulaisia.

Darwinin päätelmät

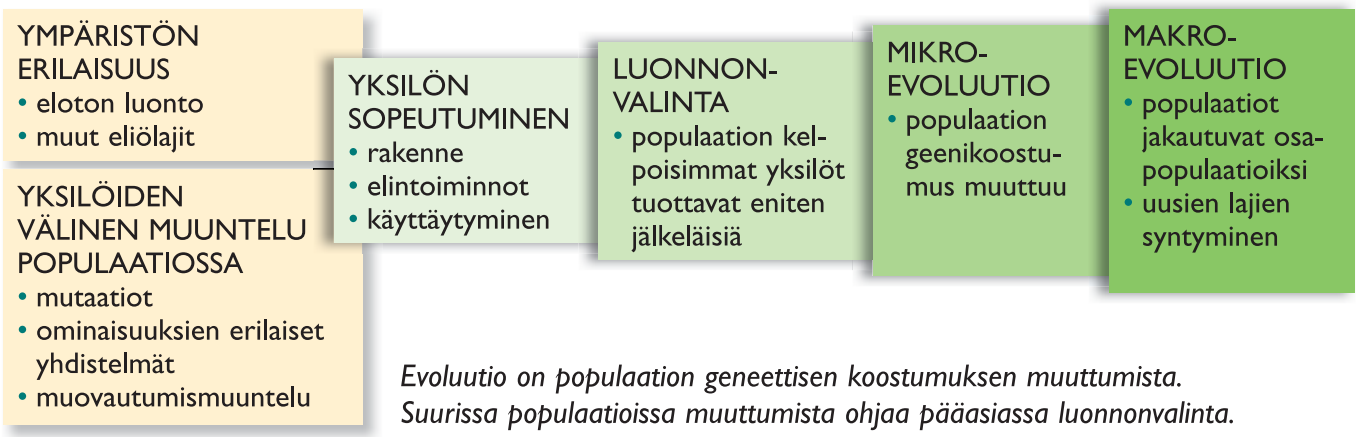
1. Eliölajit lisääntyvät niin tehokkaasti, että yksilöiden määrä ylittää helposti ympäristön kantokyvyn (ravinnon, tilan ja muut elinehdot).
2. Eläin- ja kasviyksilöt eivät ole ominaisuuksiltaan samanlaisia, vaan samaankin lajiin kuuluvat yksilöt muuntelevat luontaisesti.
3. Liian suuret yksilömäärät aiheuttavat olemassaolon taistelua, jossa heikoimmat kuolevat tai niiden jälkeläismäärä jää pieneksi.
4. Tämä on luonnonvalintaa, joka karsii ominaisuuksiltaan heikoimmat yksilöt, ja vahvimmat jäävät jatkamaan sukua. Näin laji ”kehittyy vähitellen paremmaksi”.

Darwin tutki Galapagossaarilla erityisesti lintuja, jotka myöhemmin nimettiin hänen mukaansa Darwinin sirkuksi. Alun perin samasta kantalajista kehittyi monenlaisiin ekologisiin lokeroihin sopeutuneita sirkkulajeja. Kuvan sirkku syö maaleguaanin iholla eläviä loisia.

evoluutioajattelu. Darwinin ja Wallacen evoluutiokäsityksen ydin oli, että elämällä on yhteinen alkuperä ja että myös ihminen on kehittynyt vähitellen alemmista selkärankaisista luonnonvalinnan kautta.

Darwinin luonnonvalintaan perustuva evoluutioteoria pohjautuu hänen tutkimusmatkoillaan tekemiinsä monipuolisiin fossiililöytöihin, havaintoihin ja näistä tehtyihin johtopäätöksiin. Sen ydinajatus on, että kelpoisimmat yksilöt säilyvät elossa luonnon kovassa olemassaolon taistelussa. Teorian keskeisiä kohtia ovat yksilöiden valtava lisääntymiskyky ja muuntelu. Kun käytettävissä oleva elintila on rajallinen, yksilöt joutuvat taistelemaan ankarasti olemassaolostaan. Siinä menestyvät vain parhaiten ympäristöolosuhteisiin sopeutuneet yksilöt. Aikojen kuluessa eri aikoina ja eri paikoissa vallinneet vaihtelevat ympäristöolosuhteet ovat johtaneet uusien lajien syntyyn.

Darwinin polveutumisoppia ja luonnonvalinnan periaatetta on täydennetty biologisen tutkimuksen tuottamilla uusilla perinnöllisyystieteen, paleontologian ja ekologian tiedoilla. Tietojen yhdistäminen, synteesi, on kiteytetty nykyiseksi selitykseksi maapallolla tavattaville miljoonille eliölajeille ja lajien muuttumiselle eli evoluutiolle. Nykyisen tietämyksen mukaan evoluutio perustuu eliöiden lisääntymiseen, ominaisuuksien periytymiseen, muunteluun, kilpailuun, valintaan, isolaatioon ja sattumaan. Nämä kaikki vaikuttavat sekä populaatioiden sisällä että niiden välillä, ja evoluutio on seurausta näiden sukupolvesta toiseen jatkuvien tapahtumien vuorovaikutuksesta.

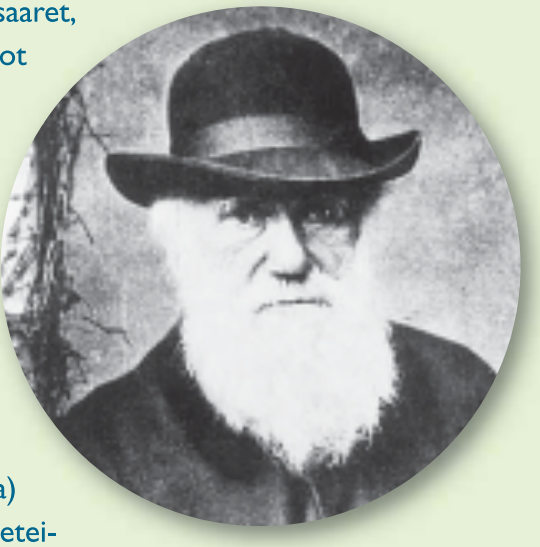


Evoluutio on populaation geneettisen koostumuksen muuttumista. Suurissa populaatioissa muuttumista ohjaa pääasiassa luonnonvalinta.

Maailmankuvan mullistaja

Charles Darwinia (1809–1887) voidaan pitää aikansa suurimpana maailmankuvan mullistajana. Darwin opiskeli yliopistossa aluksi kasvi-, eläin- ja lääketiedettä sekä teologiaa. Vuonna 1831 hän pääsi luonnontieteellisenä asiantuntijana HMS Beaglen mukana maapallon ympäri suuntautuneelle tutkimusmatkalle. Matkareitin pysähdyspaikkoja olivat muun muassa Kap Verden saaret, Tulimaa ja Galapagossaaret. Matkan aikana tehdyt löydöt ja havainnot sekä uudet käsitykset maapallon geologisesta kehityksestä saivat Darwinin tajuamaan evoluution perusteet ja luopumaan vallalla olleesta käsityksestä, että lajit ovat muuttumattomia. Varsinaisen evoluutioteorian ja pääteoksensa, Lajien synnyn, hän kirjoitti Lontoossa jo 1840-luvulla. Aika ei ollut vielä tuolloin kypsä uusille ajatuksille, ja työ julkaistiin vasta 1859, kun Darwinin hyvä ystävä ja kollega Alfred Russel Wallace oli päätynyt samanlaisiin johtopäätöksiin elämän kehityksestä.

Darwinin evoluutiokäsitystä kutsutaan usein luonnonvalintateoriaksi. Nykyinen evoluutiokäsitys (uusdarwinismi, synteettinen evoluutioteoria) perustuu Darwinin päätelmiin ja nykyisiin biologian ja muiden luonnontieteiden tutkimustuloksiin.



Charles Darwin

Darwinin tutkimusmatka HMS Beaglella kesti viisi vuotta. Matkan aikana hän keräsi valtavan määrän luonnontieteellistä aineistoa ja teki havaintoja ja johtopäätöksiä tulevan evoluutioteorian pohjaksi.

TEHTÄVÄT

1. Väittämät

Vastaa perustellen, ovatko seuraavat evoluutiota koskevat väitteet oikeita vai virheellisiä.

a. Evoluutiota on tapahtunut vain menneisyydessä, eikä sitä tapahdu enää.
b. Evoluutiolla on tietty päämäärä.
c. Kaikki lajit kehittyvät yhtä nopeasti.
d. Kastemato on alkeellisempi eläin kuin koira.
e. Evoluutio johtaa aina alkeellisemmasta eliöstä kehittyneempään.
f. Nykyiset lajit polveutuvat jostakin toisesta nykyisestä lajista.
g. Mutaatiot ovat tärkein evoluution aiheuttaja.
h. Suvullinen lisääntyminen tuottaa uusia ominaisuusyhdistelmiä.

2. Eri isolaatiomekanismit (lisääntymisesteet)

Mitä isolaatiomekanismeja voisi olla kyseessä näiden lajiparien välillä?

a. intiannorsu ja afrikannorsu
b. kiiruna ja riekko
c. silli ja silakka
d. hevonen ja aasi

3. Lajien synty

yo s-03

Kookkaita, lentokyvyttömiä strutsinsukuisia lintuja elää eri mantereilla: strutsi Afrikassa, nandu Etelä-Amerikassa ja emu Australiassa. Keisaripingviinin ja jo sukupuuttoon kuolleen siivettömänruokin esiintymisalueet ovat maapallon eri puolilla, keisaripingviinin eteläisellä ja siivettömänruokin pohjoisella pallonpuoliskolla.
Tee selkoa niistä evoluutiovoimista, jotka selittävät

a. strutsinsukuisten lintujen yhteiset ominaisuudet
b. keisaripingviinin ja siivettömänruokin samankaltaisuuden.

Siivetönruokki (täytetty)

Keisaripingviini

Strutsi

4. Jääkauden vaikutus sopulien lajiutumiseen

yo s-01

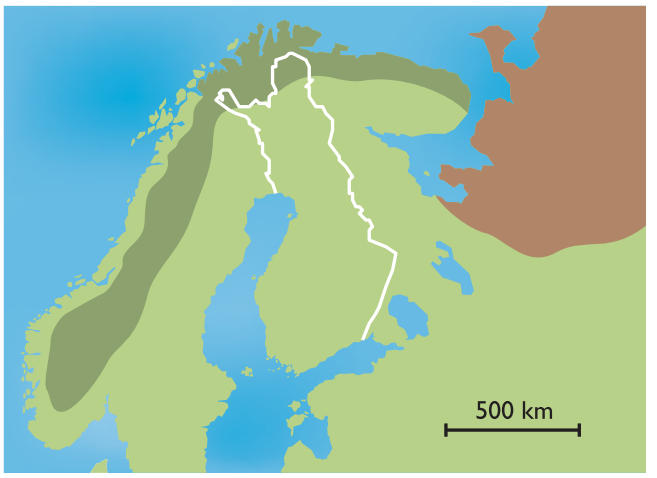
Viimeisimmän jääkauden aikana osa sopuleista ilmeisesti talvehti Norjan rannikolla, missä oli Golfvirran vaikutuksesta jäättömiä alueita. Pääosa sopuleista asusti mannerjäätikön itäpuolella. Nyt Euroopasta on nimetty kaksi *Lemmus*-sukuun kuuluvaa lajia, tunturisopuli (*Lemmus lemmus*) ja siperiansopuli (*Lemmus sibiricus*).

Tunturisopuli

Siperiansopuli

Nandu

Emu



Tunturisopuli *(Lemmus lemmus)*

Siperiansopuli *(Lemmus sibiricus)*

a. Miten näiden sopulien lajiutuminen on voinut tapahtua?
b. Mitä tarkoitetaan sillä, että tunturisopuli on endeeminen nisäkäs Pohjois-Euroopassa?
c. Jääkauden jälkeen sopulit eivät ole vielä ehtineet täyttää mannerjäätikön aikanaan muodostamaa ”sopulityhjiötä”. Jos näiden sopulien esiintymisalueet laajenevat, mitä toisensa kohtaaville populaatioille voi tapahtua?

5. Norpan lajiutuminen

yo s-06

Norppa *(Phoca hispida hispida)* esiintyy yleisenä Pohjoisessa jäämeressä. Sen alalaji itämerennorppa (*Phoca hispida botnica*) elää Itämeressä ja toinen alalaji saimaannorppa (*Phoca hispida saimensis)* vain Saimaassa. Itämeri on syntynyt 10 000:n viime vuoden aikana maankohoamisen erottaessa sen valtameristä, ja Saimaa on syntynyt kuroutumalla Itämerestä.

a. Miten eri evoluutiovoimat ovat voineet vaikuttaa Itämeren ja Saimaan norppapopulaatioiden kehitykseen? (3 p.)
b. Millä eri menetelmillä voidaan tutkia kolmen mainitun norppapopulaation eroja? Millä tutkimusmenetelmällä varmistuisi se, ovatko populaatiot kehittyneet omiksi lajeikseen? (3 p.)

6. Evolutiivinen merkitys

yo k-07

Mikä evolutiivinen merkitys on

a. soidinkäyttäytymisellä
b. suurella jälkeläismäärällä
c. migraatiolla (muuttoliikkeellä)?

Yhteenveto

Evoluutiossa eliölajit sopeutuvat vallitseviin olosuhteisiin ja niistä voi aikojen kuluessa kehittyä uusia lajeja.

Mikroevoluutiossa luonnonvalinta muuttaa populaation geenikoostumusta.

Makroevoluutiossa syntyy uusia lajeja.

Uusia lajeja syntyy usein, kun saman lajin yksilöt eristyvät toisistaan erillisiksi populaatioiksi ja näiden populaatioiden välille muodostuu lisääntymiseste.

Pienissä populaatioissa sattuma vaikuttaa lajinkehitykseen yleensä luonnonvalintaa ja isolaatiota enemmän.

Sopeutumislevittäytymisessä yhdestä kantalajista voi kehittyä uudenlaisessa ympäristössä suhteellisen nopeasti monia uusia lajeja.

Avainsanat

Darwin
evoluutio
isolaatio
isolaatiomekanismit eli lisääntymisesteet
lajiutuminen
makroevoluutio
mikroevoluutio
sattuma
sopeutuminen
sopeutumislevittäytyminen

8.

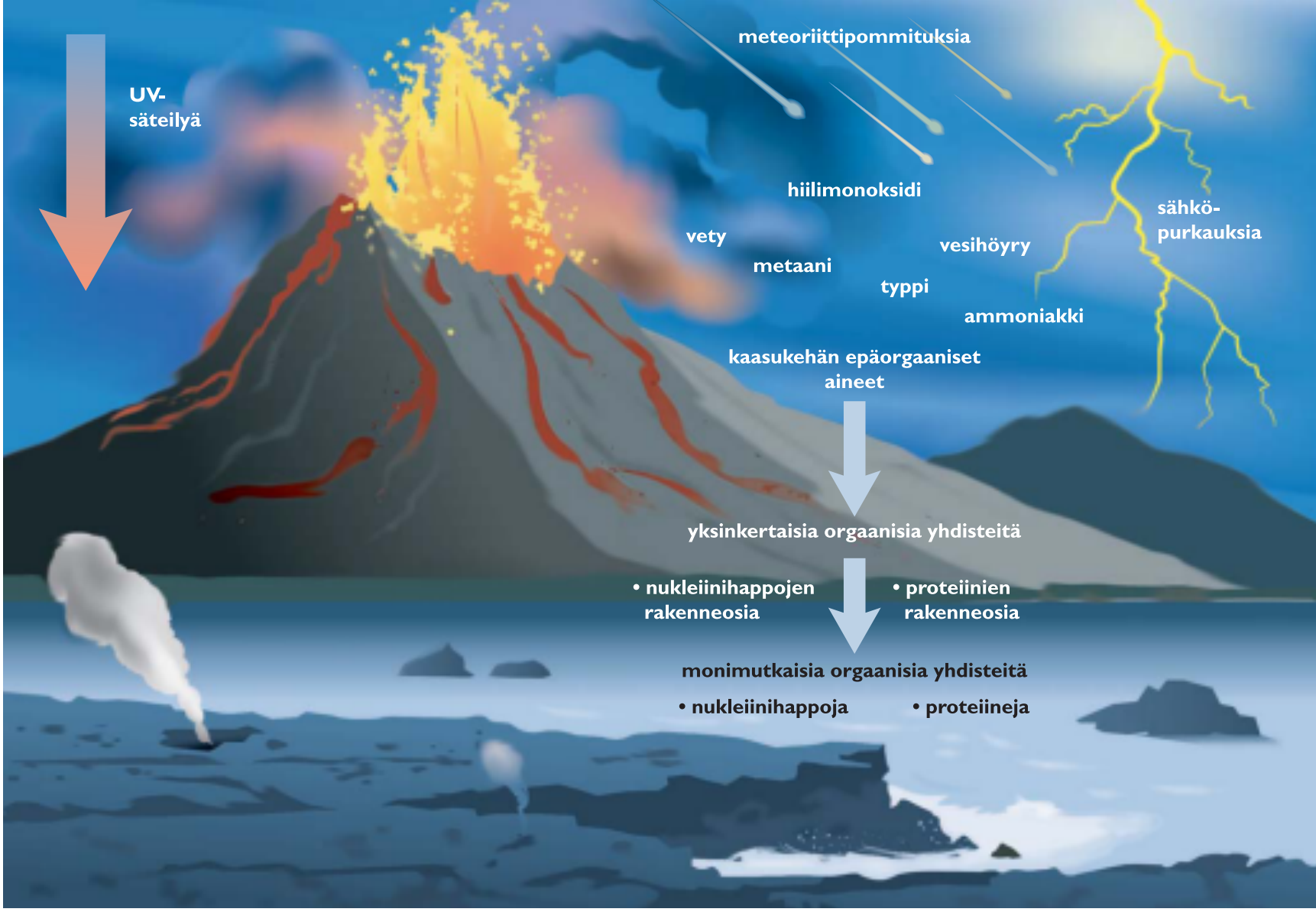
Elämä syntyy ja kehittyy merissä

Jos elämän kehitys maapallolla tiivistettäisiin yhdeksi vuodeksi, olisivat ensimmäiset alkeelliset elämänmuodot ilmestyneet maapallolle vasta maaliskuun puolivälissä. Syyskuussa maapallolla olisi elänyt jo kehittyneempiä yksisoluisia eliöitä. Elämä olisi noussut merestä maalle marraskuun lopussa, hirmuliskot olisivat hävinneet joulukuun 25. päivänä ja nykyihminen *Homo sapiens* olisi kehittynyt vasta tuntia ennen keskiyötä vuoden viimeisenä päivänä.

Alkumaapallon olosuhteet olivat suotuisat elämän synnylle

Elämän kehityshistoria ei ole ollut suoraviivaista, vaan siinä on ollut monia polkuja ja kokeiluja. Evoluutiolla ja elämän kehityksellä ei siis ole pyrkimystä täydellisyyteen tai kehityksen huipentumiseen. Tutkijat ovat nykyisin eläviä lajeja sukupuuttoon kuolleisiin lajeihin verratessaan huomanneet, että eliöiden rakenteelliset perusratkaisut ovat säilyneet samoina.

Elämän synnyn selvittäminen on yksi biologian haastavimpia tehtäviä. Eräs selvittämiseen liittyvistä ongelmista on se, että elämän alkuajoista ei ole konkreettisia todisteita, kuten fossiileja. Elämän synnystä on kuitenkin olemassa toisenlaisia todisteita, joita löytyy nykyisin elävistä eliöistä. Kaikkien eliöiden solut ovat rakenteeltaan ja toiminnaltaan pääpiirteis-



Maapallon pinta oli alttiina voimakkaalle ultraviolettisäteilylle, salamoinnille ja meteoriittipommitukselle. Myös tulivuorenpurkauksia oli jatkuvasti. Kaikki edellämainitut tapahtumat toimivat energianlähteinä, jolloin kaasukehän epäorgaaniset aineet saattoivat reagoida keskenään. Meriin alkoi syntyä nukleiinihappoja ja proteiinien rakenneosia.

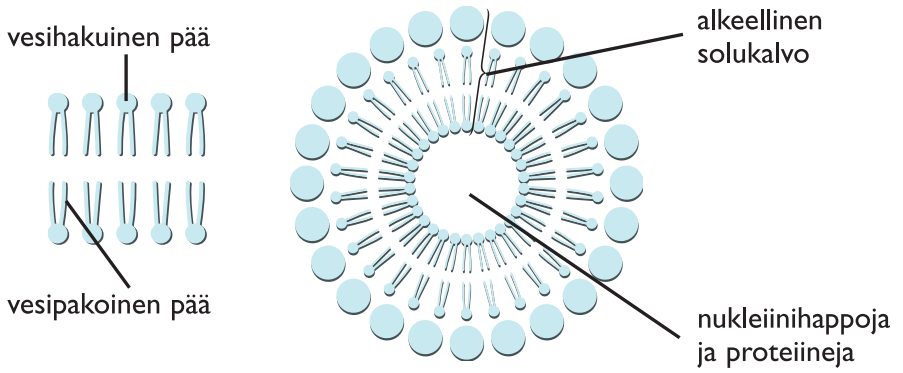
sään samanlaisia, mikä on todiste niiden yhteisestä alkuperästä. Se, että on löydetty bakteereja ja arkkeja, jotka pystyvät elämään merten pohjassa valtavassa paineessa, syvällä maankuoressa kovassa kuumuudessa tai Kuolleenmeren suolaisessa vedessä, kertoo siitä, että alkumaapallon olosuhteet eivät ole olleet elämän synnyn kannalta mahdottomia.

Maapallon iäksi arvioidaan 4,6 miljardia vuotta. Aluksi maapallo oli hehkuvan kuuma taivaankappale. Kun se jäähtyi, syntyi Maalle kiinteä kivikuori ja sen ympärille kaasukehä. Kaasukehän arvellaan koostuneen epäorgaanisista kaasuista, joita olivat muun muassa hiilidioksidi, hiilimonoksidi, typpi, metaani, ammoniakki, vety ja vesihöyry. Kun maapallo jäähtyi, tiivistyi osa vesihöyrystä nestemäiseksi vedeksi. Sateet piiskasivat autiota maankuorta ja irrottivat siitä erilaisia mineraaleja, ja lopulta vesi täytti maankuoren suuret altaat. Näin syntyivät nykyiset valtameret.

Elämän arvellaan syntyneen kolmessa vaiheessa. Ensin kaasukehässä olleista epäorgaanisista aineista syntyi yksinkertaisia orgaanisia eli hiilestä rakentuvia yhdisteitä, elämän rakennusaineita. Näitä olivat esimerkiksi nukleiinihappojen ja proteiinien rakenneosat. Nukleiinihappoja tarvitaan perintötekijöiden rakenteessa ja perinnöllisen tiedon siirtämisessä. Tätä vaihetta, jossa epäorgaanisista aineista syntyi orgaanisia aineita, sanotaan kemialliseksi evoluutioksi.

Seuraavassa vaiheessa nämä elämän rakennusaineet liittyivät yhteen muodostaen isoja jättimolekyylejä: ensin nukleiinihappoja ja sitten niiden ohjeiden mukaan syntyneitä proteiineja, joita tarvitaan solujen rakenteissa. Nukleiinihappoja tarvitaan solun toiminnan ohjaajina. Nukleiinihapoilla oli jo silloin yksi elämän tunnusmerkeistä, nimittäin kyky lisääntyä kopioimalla itseään.

Kolmannessa vaiheessa jättimolekyylit kerääntyivät ympäristöstä erottavan kalvon sisälle. On havaittu,



Alkusolun oletetaan syntyneen seuraavalla tavalla: molekyylit, joilla oli vesihakuinen ja vesipakoinen pää, järjestyivät ensin suuremmiksi jättimolekyyleiksi. Tämän jälkeen sähköisesti varautuneet, orgaaniset molekyylit tarttuivat toisiinsa kiinni ja muodostivat pisaroita. Molekyylien rakenteen ansiosta pisaroiden pinnalle muodostui alkeellinen solukalvo.

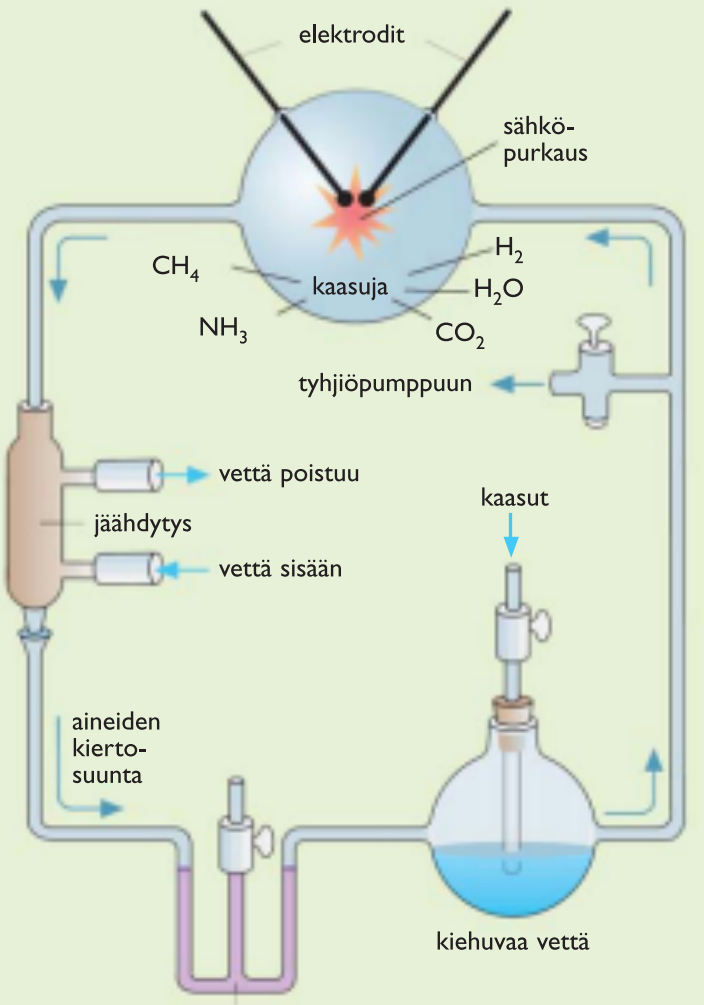
että suuret orgaaniset molekyylit tarttuvat helposti kiinni toisiinsa ja muodostavat pisaroita eli kolloideja. Pisaran ulkopinta vastaa solukalvoa: se pystyy kontrolloimaan aineiden kulkua sisälle ja ulos. Kun pisaran sisälle tuli nukleiinihappoja ja proteiineja, voidaan alkusolun ajatella syntyneen.

Vanhimmat merkit elämästä on löydetty Grönlannista. Iältään ne ovat noin 3,8 miljardia vuotta vanhoja, ja niitä voidaan pitää eräänlaisina hyvin karkeina versioina ensimmäisistä soluista. Nämä bakteerejakin alkeellisemmat eliöt olivat alttiina ultraviolettisäteilylle, mikä aiheutti niiden perimässä mutaatioita. Mutaatiot tuottivat materiaalia valinnalle, ja biologinen evoluutio saattoi alkaa.

Elämän syntypaikasta ja -tavasta on erilaisia teorioita

Se, miten ja missä jättimolekyylit ovat syntyneet, on vielä epäselvää. Erään teorian mukaan elämä on syntynyt matalissa merenlahdissa niin sanotussa alkuliemessä. Toisen teorian mukaan jättimolekyylit syntyivät merenpohjan kuumissa lähteissä, joissa ne olivat suojassa meteoriittipommitukselta ja ultraviolettisäteilyltä. Kolmas teoria esittää jättimolekyylien syntyneen syvällä maapallon kuoressa. Eräät tutkijat ovat sitä mieltä, että savi on toiminut sopivana pintana, jossa pienemmät molekyylit ovat pystyneet sitoutumaan toisiinsa kiinni ja muodostamaan jättimolekyylejä. Joidenkin tutkijoiden mielestä taas jättimolekyylejä tai jopa mikrobeja on tullut maapallolle meteoriittien mukana avaruudesta. Kaikille näille teorioille on yhteistä, että ne edellyttävät nestemäistä vettä, johon on liuennut sopivia yhdisteitä. Lisäksi kemiallisten reaktioiden ylläpitäminen on vaatinut energiaa.

Millerin ja Ureyn vuonna 1953 laboratoriossa suorittama koe osoitti, että epäorgaanisista aineista voi syntyä sopivissa olosuhteissa orgaanisia yhdisteitä. Vesihöyryä ja kaasuja johdettiin lasipalloon, jonne kohdistettiin keinotekoisia sähköpurkauksia. Näin haluttiin jäljitellä alkumaapallon salamointia. Viikon kuluttua kaasut jäähdytettiin ja syntynyt liuos analysoitiin. Vesiliuoksessa oli aminohappoja ja joitakin muita orgaanisia yhdisteitä.



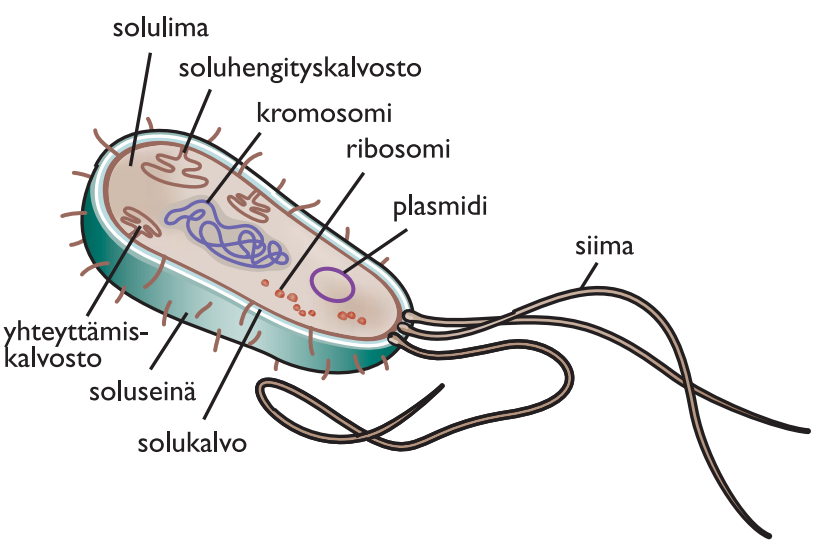
jäähtynyttä vettä ja orgaanisia yhdisteitä: aminohappoja, peptidejä, nukleotidien osia

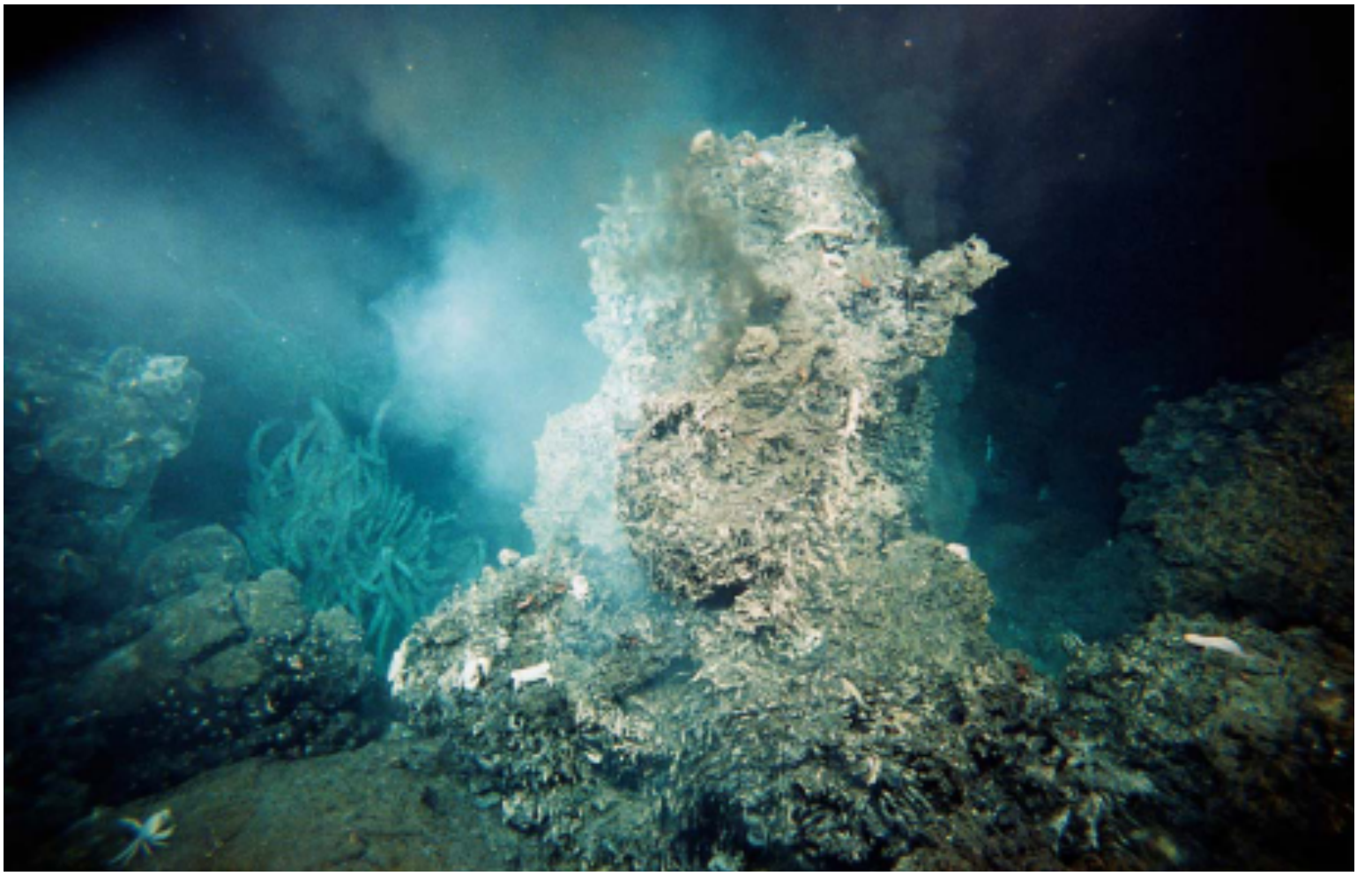
Esitumalliset eliöt olivat maapallon ensimmäisiä valtiaita

Vanhimmat merkit esitumallisista ovat 3,5 miljardin vuoden takaa. Esitumallisisten kehitys haarautui hyvin varhain kahdeksi linjaksi, arkeiksi ja bakteereiksi. Näiden ryhmien elinvaatimukset olivat niin erilaiset, että ne eivät joutuneet kilpailemaan keskenään. Arkit erikoistuivat elämään äärimmäisissä olosuhteissa, kuten syvällä maapallon kuoressa, valtamerten pohjissa tai kuumissa lähteissä.

Ultraviolettisäteilyn määrä oli edelleen suuri, ja se aiheutti mutaatioita esitumallisten perintötekijöissä. Esitumallisilla oli myös alkeellista seksiä, ne pystyivät vaihtamaan geeniainesta keskenään. Koska esitumallisilla esiintyi perinnöllistä muuntelua ja ne lisääntyivät nopeasti, vaikutti valinta tehokkaasti niiden evoluutioon. Ne esitumalliset, joilla oli parhaimmat geeniyhdistelmät, pystyivät sopeutumaan ympäristöolojen muutoksiin ja valloittamaan maapallolla monenlaisia elinympäristöjä.

Suurin osa esitumallisista eliöistä sai ravintonsa ottamalla ympäristöstään erilaisia valmiita yhdisteitä, eli ne olivat toisenvaraisia. Joillekin niistä kehittyi kyky valmistaa tarvitsemansa yhdisteet itse yhteyttämällä. Energian yhteyttämiseen ne saivat erilaisista kemiallisista reaktioista.





Merien syvänteissä on sulfidipatsaita eli savuttajia, joista purkautuu kuumaa vettä ja rikkiyhdisteitä veteen. Omavaraiset rikkibakteerit pystyvät käyttämään näitä yhdisteitä energianlähteenään yhteyttämisessä.

Merkittävä harppaus elämän kehityksessä tapahtui noin 3 miljardia vuotta sitten, kun fotosynteesi eli auringonvalon avulla tapahtuva yhteyttäminen kehittyi. Sen onnistuminen edellytti, että bakteerisolujen sisälle muodostui yhteyttämisessä tarvittavia väriaineita, kuten lehtivihreää eli klorofylliä, jotka pystyivät sitomaan auringon valoenergiaa. Koska vettä ja auringonvaloa oli yllin kyllin saatavilla, saivat fotosynteesiin kykenevät eliöt kilpailuedun, ja ne lisääntyivät nopeasti. Osa yhteyttävistä bakteereista oli syanobakteereja, ja ne olivat myöhemmin syntyvien viherhiukkasten kantamuotoja. Fotosynteesin tuloksena syntyi happea, mutta happi liukeni aluksi veteen ja sitoutui siellä erilaisiin yhdisteisiin. Vasta noin kaksi miljardia vuotta sitten vapaata happea alkoi kerääntyä myös maapallon kaasukehään.

Hapen ilmaantumisella kaasukehään oli monia tärkeitä seurauksia. Happi reagoi kaasukehässä olleiden myrkyllisten kaasujen, kuten metaanin ja ammoniakin kanssa ja ne hävisivät. Kaasukehän koostumus alkoi pikkuhiljaa kehittyä nykyisenlaiseksi. Toinen tärkeä seuraus oli se, että happimolekyyleistä alkoi muodostua ylempänä ilmakehässä ultraviolettisäteilyltä suojaava otsonikerros.

Ennen hapen lisääntymistä esitumalliset olivat vapauttaneet elintoimintoihinsa tarvittavan energian käymisreaktioista, joissa ei tarvita happea. Kaikki esitumalliset olivat toisin sanoen anaerobisia eli hapettomissa olosuhteissa eläviä, ja happi oli niille myrkkyä. Hapen ilmaantuminen toimi uudenlaisena valintatekijänä esitumallisten evoluutiossa: niiden piti joko sopeutua uuteen ympäristöön, paeta hapettomiin olosuhteisiin tai kuolla. Hapelliseen ympäristöön sopeutuville esitumallisille kehittyi uusi energianvapauttamistapa: alkeellinen soluhengitys, jossa energiaa vapautuu enemmän solun ja eliön käyttöön kuin ilman happea tapahtuvassa käymisreaktiossa.

Kaikki esitumalliset eivät pystyneet sopeutumaan hapelliseen ympäristöön, vaan ne kuolivat sukupuuttoon. Tämä oli maapallon historian ensimmäinen sukupuuttoaalto. Näin evoluution näyttämö oli valmis seuraavaan kehitysaskeleeseen.

Fotosynteesi:

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \xrightarrow{\text{valo-energiaa}} C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

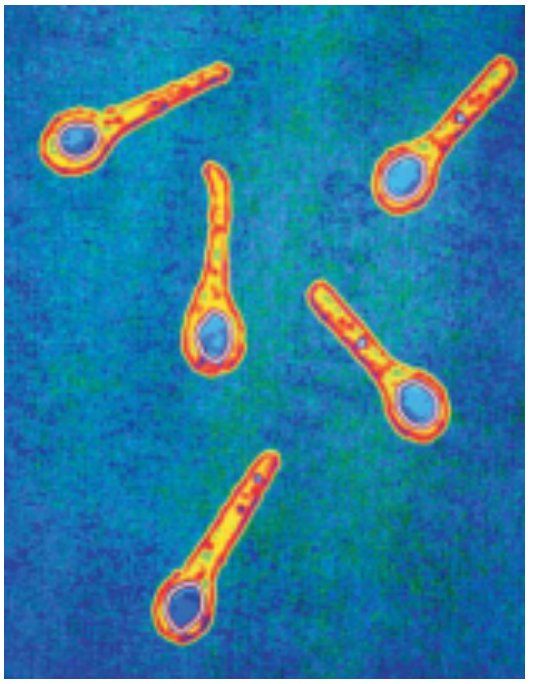
hiilidioksidi · vesi · glukoosi · happi

Soluhengitys:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{energiaa}$$

sokeri · happi · hiilidioksidi · vesi

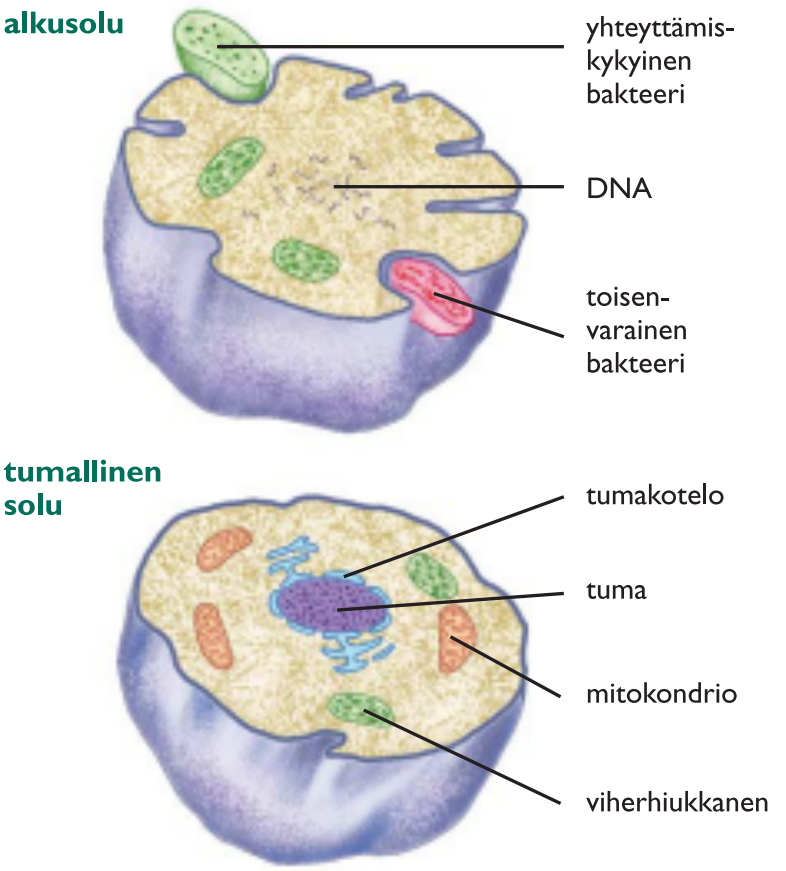
Syanobakteerit kukoistivat aikoinaan matalissa merissä muodostaen valtavia yhdyskuntia. Nyt näitä syanobakteerien ja muiden samaan aikaan eläneiden bakteerien fossiloituneita jäänteitä kutsutaan stromatoliiteiksi. Kuvassa näkyvät kivien kaltaiset muodostumat ovat stromatoliitteja Australian länsirannikolla.



Jäykkäkouristusbakteerit elävät hapettomissa (anaerobisissa) oloissa maaperässä.

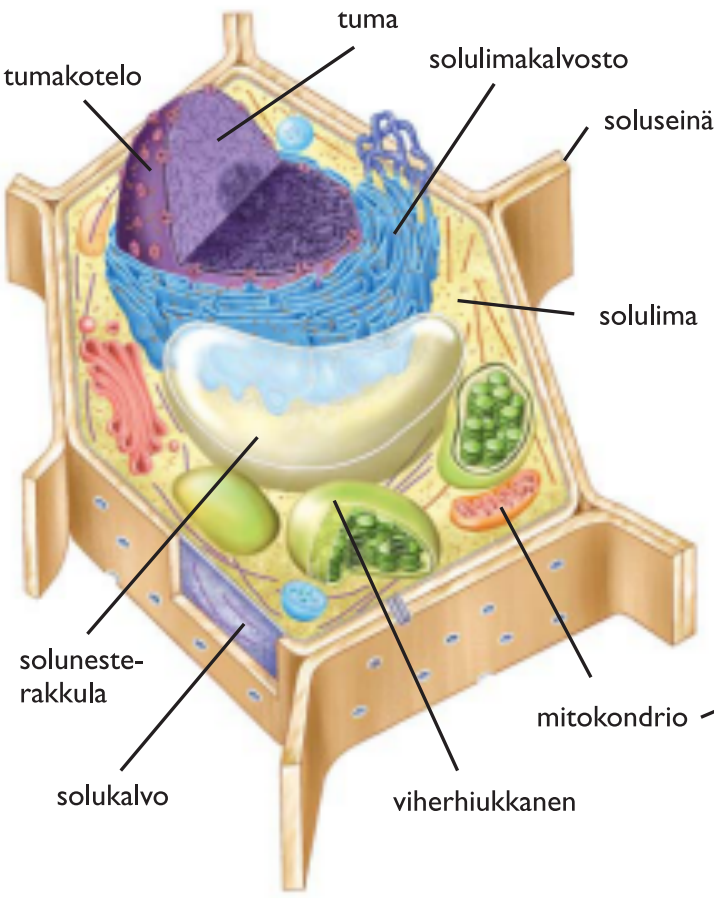
Tumallinen solu syntyy

Tumallinen solu on paljon suurempi kuin esitumallinen solu, ja sen sisällä on enemmän erilaisia soluelimiä. Tumallisen solun arvellaan kehittyneen siten, että ensin jotkin pehmytseinäiset bakteerit sulautuivat yhteen. Näin perintöaineksen, DNA:n, määrä kasvoi suureksi, ja sen ympärille muodostui suojaava rakenne eli tumakotelo. Sitten tämä kookas isäntäsolu söi pieniä kovaseinäisiä bakteerisoluja, jotka eivät hajonneetkaan isäntäsolun sisällä, vaan niistä kehittyi soluelimiä. Tätä endosymbioosiksi kutsuttua teoriaa perustellaan sillä, että kaksi tumallisen solun soluelintä, mitokondriot ja viherhiukkaset, ovat hyvin erikoisia. Ne pystyvät lisääntymään itsenäisesti jakautumalla, ja niissä on omia geenejä. Mitokondriot ovat kaikkien solujen voimalaitoksia, eli niissä vapautetaan energiaa solun käyttöön. Viherhiukkasissa puolestaan tapahtuu fotosynteesi ja ensimmäiset viherhiukkaset kehittyivät yksisoluisille viherleville.

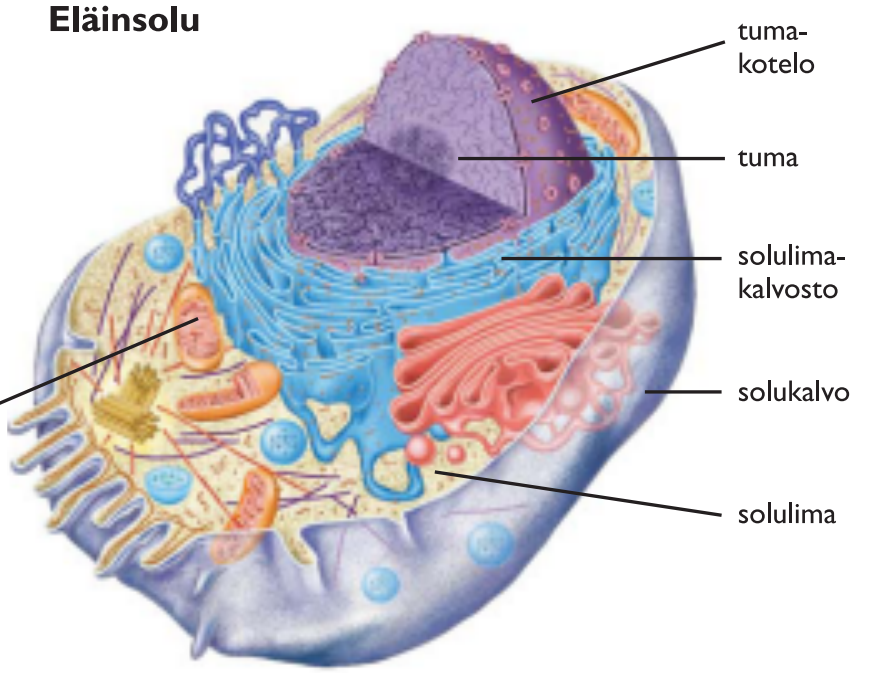


Endosymbioositeorian mukaan mitokondriot ja viherhiukkaset ovat aiemmin olleet itsenäisiä bakteereja, mutta kun ne joutuivat solun sisälle, ne jäivät sinne solun rakenteiksi. Kun soluun tunkeutui toisenvarainen soluhengitykseen kykenevä bakteeri, kehittyi bakteeri solun mitokondrioksi. Soluista, joihin hakeutui yhteyttämiskykyisiä bakteereja, alkoi kehityslinja, joka johti levien kautta kasvikuntaan. Ne solut, jotka jäivät ilman viherhiukkasia, erkanivat noin miljardi vuotta sitten sienikuntaan ja eläinkuntaan johtaviksi kehityslinjoiksi.

Kasvisolu



Eläinsolu



Näin tumalliset yksisoluiset eliöt valloittivat vuorostaan evoluution näyttämön noin 1,5 miljardia vuotta sitten. Meri oli niiden kaikkien elinympäristönä. Otsonin määrä oli ilmakehässä edelleen lisääntynyt, ja sen seurauksena maapallolle pääsevän UV-säteilyn määrä oli jo hieman vähentynyt. Sen vuoksi eliöt pystyivät elämään myös meren pintakerroksissa. Solut erikoistuivat erilaisiin ravinnonhankintatapoihin ja syntyi peto-saalissuhteita. Tämä nopeutti eliöiden evoluutiota edelleen. Solut saattoivat liittyä yhteen solurykelmiksi, joissa oli jonkinlaista solujen välistä työnjakoa. Varsinaisten monisoluisten eliöiden aika koitti kuitenkin vasta myöhemmin.

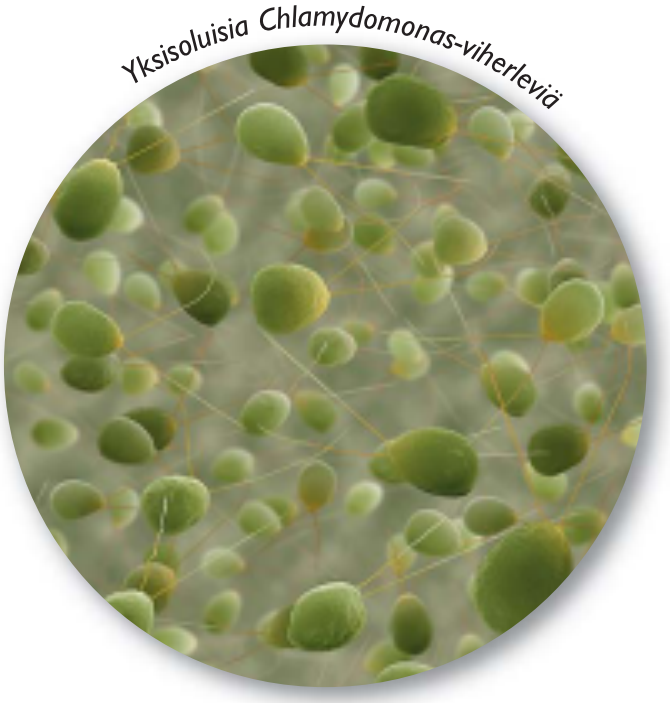
Yhdestä solusta monisoluisiksi eliöiksi

Kun solurykelmässä olevien solujen välinen työnjako kehittyi niin pitkälle, että solut eivät enää selvinneet ilman toisiaan, oli kehittynyt monisoluinen eliö. Ensimmäiset todisteet monisoluisuudesta ovat 700 miljoonan vuoden takaa. Monisoluisia eliöitä oli ilmeisesti ollut jo aiemminkin, mutta ne eivät tuolloin menestyneet kilpailussa yksisoluisten alkueliöiden kanssa.

Monisoluisilla eliöillä oli useita tärkeitä kilpailuetuja yksisoluisuuteen nähden. Koska niiden solut kykenivät erikoistumaan ja siten suorittamaan eri tehtäviä, olivat monisoluiset eliöt yksisoluisia tehokkaampia. Sen seurauksena myös eliöiden koko saattoi kasvaa suuremmaksi. Toinen tärkeä muutos oli ”seksin vallankumous”: osa eliöiden soluista erikoistui sukusoluiksi ja näin suvullinen lisääntyminen alkoi. Eliöiden evoluutio nopeutui, koska suvullisen lisääntymisen tuloksena syntyi enemmän perinnöllistä muuntelua ja siten materiaalia luonnonvalinnalle.

Happea oli ilmakehässä edelleenkin vähän, vain noin kolmasosa nykyisestä määrästä. UV-säteilyn määrä oli vielä vaarallisen suuri, koska otsonikerros oli vielä suhteellisen ohut. Vesi pystyi kuitenkin suojaamaan eliöitä UV-säteilyltä, joten evoluutio jatkui edelleen. Yksisoluisista levistä kehittyi monisoluisia leviä ja eläinten erilaisten ruumiinrakenteiden evoluutio alkoi.

Yksisoluisia *Chlamydomonas*-viherleviä



Volvox-kolonioita

Jotkin viherlevät, kuten Volvox, elävät suurissa kolonioissa eli yhdyskunnissa. Ne ovat itsenäisiä eliöitä, mutta niiden välillä on myös työnjakoa ja yhteistoimintaa. Yhdessä Volvox-koloniassa voi olla satoja, jopa tuhansia yksilöitä.

Ediacara-kauden outoja eläimiä

Ediacara-kaudella tarkoitetaan aikakautta 635–542 miljoonaa vuotta sitten maapallon historiassa. Aikakauden nimitys tulee siitä, että ensimmäiset silloin eläneiden monisoluisten eläinten fossiilit löydettiin Ediacarasta Australiasta vuonna 1946. Myöhemmin Ediacara-kauden eläinfossiileja on löydetty miltei kaikilta muiltakin mantereilta, kuten Kanadan kalliovuorilta Burgess Shalen alueelta. Kanadan esiintymä on merkittävä sen vuoksi, koska sieltä on löydetty monia sellaisia niveljalkaisia, joita ei pystytä sijoittamaan mihinkään nykyaikaisista ryhmistä.

Monet Ediacara-kauden eläimet olivat rakenteeltaan lehtimäisen litteitä, mikä johtui niiden tukirangan puuttumisesta. Ne ottivat ravintonsa suoraan vedestä. Osa Ediacara-ajan eläimistä saattoi käyttää ravintonaan merenpohjassa eläviä mikrobeja. Aluksi kaikki eläimet elivät pohjaan kiinnittyneinä, mutta myöhemmin kehittyi myös itsenäisesti liikkuvia eläimiä ja eläinten rakenne monimutkaistui. Eläinten koko vaihteli muutamasta millimetristä aina useampaan metriin.

Ediacara-kauden eläimet hävisivät nopeasti kambrikauden alussa. Häviämisen syynä pidetään kambrikaudella kehittyneitä tehokkaita saalistajia, joiden oli helppo saada kiinni hitaasti liikkuvia Ediacara-eläimiä.

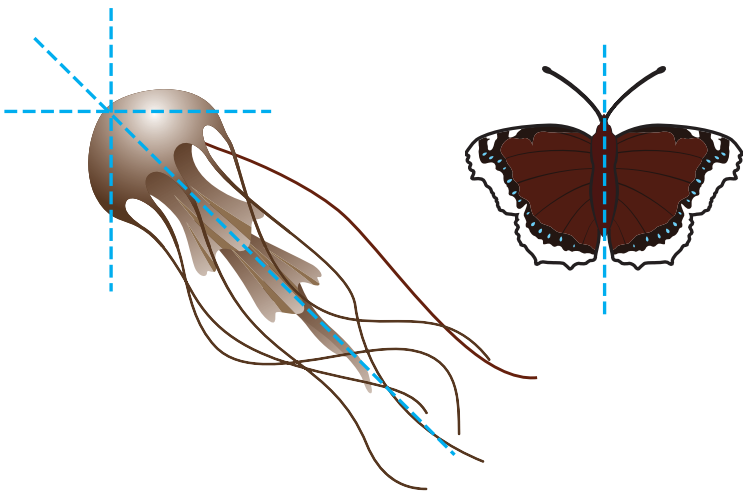
Ediacara-kauden eläimiä ei pidetä nykyisten monisoluisten eläinten esi-isinä, vaan ne olivat eräs eläinten evoluutiossa sukupuuttoon kuollut haara ja esimerkki evoluution kokeiluista.

Tunnetuin Burgess Shalen alueelta löydetty eläinfossiili on Hallucinogenia sparsa.

Ediacara-ajan eliömaailmaa.

Eläinten kehitys alkaa prekambrikaudella

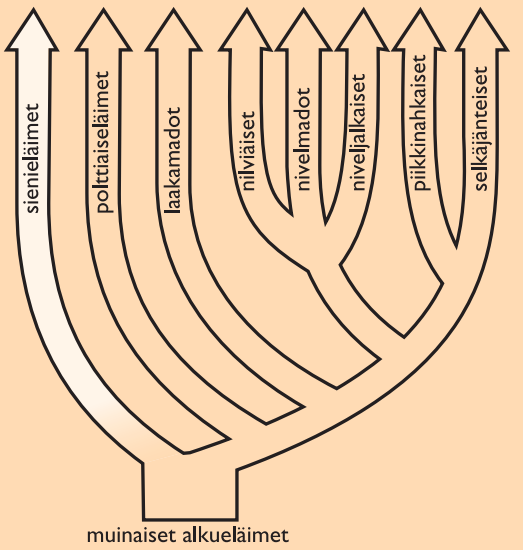
Ensimmäiset monisoluiset eläimet olivat sienieläimiä. Ne koostuivat vain kahdesta erilaistuneesta solukerroksesta, eikä niillä ollut erikoistuneita kudoksia ja elimiä kuten hermostoa tai ruuansulatuselimistöä. Eläinten ruumiinmuoto pysyi aluksi säteittäissymmetrisenä, mikä tarkoittaa sitä, että eläin voidaan jakaa useaan symmetriseen osaan. Vähitellen alkoi kehittyä kaksikylkisiä eläinryhmiä, joiden ruumiissa voitiin erottaa oikea ja vasen puolisko. Erilaistuneiden solukerrosten ja solujen määrä lisääntyi. Solut alkoivat vähitellen erikoistua eri tehtäviin, ja lopulta ne muodostivat kudoksia ja elimistöjä. Alkeellisilla eläimillä oli aluksi yksittäisiä hermosoluja, jotka liittyivät hermoverkoiksi ja lopulta niistä muodostui hermosto. Ruuansulatus- ja hengityselimistö monipuolistuivat sekä ruumiin jaokkeellisuus kehittyi.



Säteittäissymmetrinen eliö voidaan jakaa moneen täysin symmetriseen osaan, mutta kaksikylkinen eliö voidaan jakaa vain kahteen täysin samanlaiseen osaan.

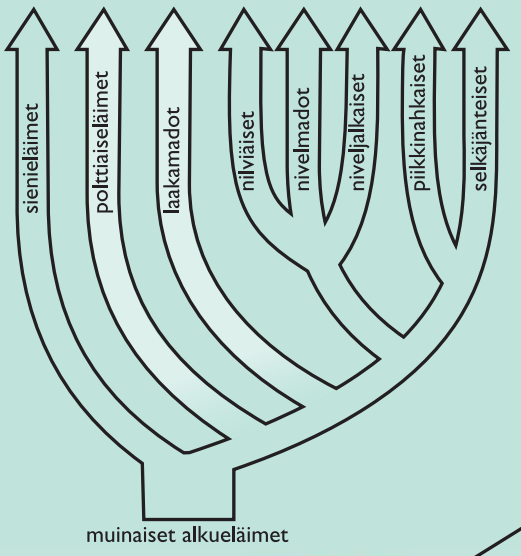
Ensimmäisissä monisoluisissa eläinryhmissä eliöiden hedelmöitys tapahtui ulkoisesti. Vähitellen ulkoisen hedelmöityksen rinnalle kehittyi sisäinen hedelmöitys. Suvullisen lisääntymisen kehittyminen toi mukanaan myös lajityypillisen parittelukäyttäytymisen. Joillakin eläinryhmillä säilyi myös kyky lisääntyä suvuttomasti jakautumalla tai kuroutumalla, mutta se vaati eläimiltä hyvää uusiutumiskykyä. Eläinlajien lukumäärä lisääntyi valtavasti noin 550 miljoonaa vuotta sitten – puhutaan niin sanotusta kambrikauden räjähdyksestä. Silloin kehittyivät kaikki nykyiset eläinkunnan selkärangattomien pääjaksot ja monet sellaiset pääjaksot, joita ei nykyään ole enää olemassakaan.

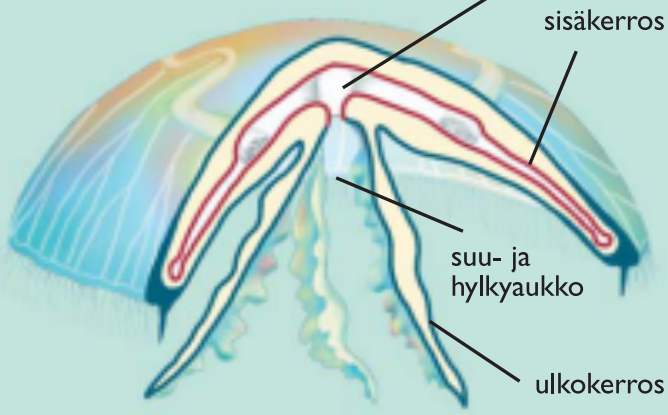
Sienieläimiä on nykyisin noin 5 000 lajia, ja ne muodostavat eläinkunnassa oman pääjaksonsa. Suurin osa sienieläimistä elää merissä, niihin kuuluvat esimerkiksi Suomessa esiintyvä järvisieni ja Välimeren pesusienet. Rakenteeltaan ne ovat hyvin yksinkertaisia: niissä on kaksi solukerrosta ja niiden välissä on erilaistumattomia soluja. Sienieläimillä ei ole mitään eri elintoimintoihin erikoistuneita kudoksia tai elimiä, vaan yksittäiset solut pystyvät muuntumaan eri tehtäviin. Sienieläimet lisääntyvät suvullisesti ulkoisella hedelmöityksellä. Toukat kehittyvät vapaasti vedessä, kunnes ne kiinnittyvät järven tai meren pohjaan kasvaen uudeksi yksilöksi. Sienieläimet pystyvät lisääntymään myös suvuttomasti, ja niiden uusiutumiskyky on erittäin hyvä. Sienieläimet saavat ravintoa siivilöimällä lävitseen virtaavasta vedestä planktonia.



sienieläin

Polttiaiseläimiä tunnetaan noin 10 000 lajia. Niihin kuuluvat muun muassa korallieläimet, polyypit ja meduusat. Säteittäissymmetriset polttiaiseläimet muodostuvat kahdesta kerroksesta, joiden välissä on hyytelömäistä tukiainetta. Polttiaiseläimillä sama ruumiinaukko toimii sekä ravinnon otossa että jätteiden ja sukusolujen poistossa. Niiden hermostona toimii erillisten hermosolujen muodostama hermoverkko. Polttiaiseläimillä on useisiin eri toimintoihin erikoistuneita soluja, kuten lihas- ja polttiaissoluja. Polttiaiseläimet pystyvät lisääntymään sekä suvullisesti että suvuttomasti. Osa polttiaiseläimistä elää itsenäisinä yksilöinä, osa taas muodostaa runkokuntia, kuten esimerkiksi korallit.



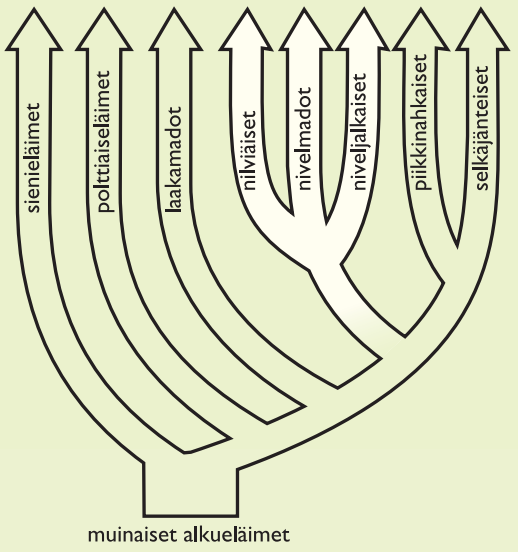


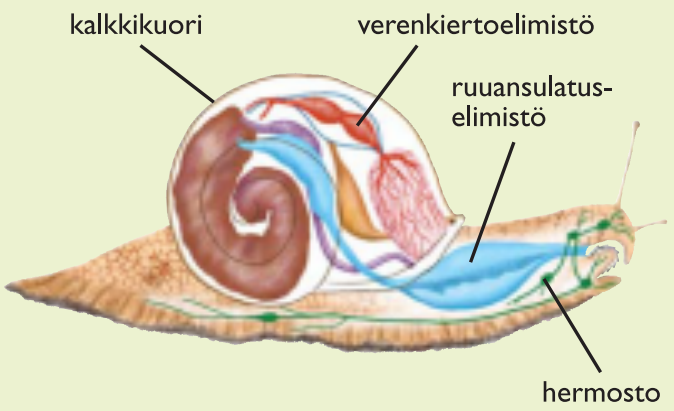
Laakamatoja tunnetaan yli 40 000 lajia. Ne ovat kaksikylkisiä, jaokkeettomia matoja. Laakamadoilla ei ole hengitys- eikä verenkiertoelimistöä. Kaasujen vaihtuminen tapahtuu suoraan eläimen ulkopinnan kautta. Hermosolut ovat liittyneet toisiinsa alkeelliseksi hermostoksi. Laakamadot ovat yleensä kaksineuvoisia, mikä tarkoittaa sitä, että sama yksilö tuottaa sekä naaras- että koiraspuolisia sukusoluja. Ne pyrkivät kuitenkin ristisiitokseen eli parittelemaan toisen yksilön kanssa, koska jälkeläisiin tulee silloin enemmän perinnöllistä muuntelua. Eräät laakamadot pystyvät lisääntymään suvuttomasti jakautumalla kahtia. Ruuansulatuselimistö puuttuu joko kokonaan tai on epätäydellinen. Monet laakamadot, esimerkiksi heisimadot ovat loisia.

laakamato

meduusoja

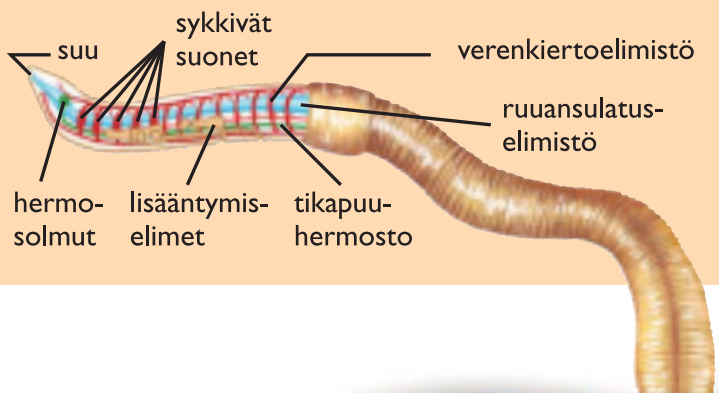
Nilviäisiin kuuluvat mm. kotilot, simpukat ja pääjalkaiset kuten esimerkiksi mustekalat. Nilviäiset ovat pääasiassa merten ja makeiden vesien eläimiä, mutta osa niistä elää maalla. Nilviäisiä on luokiteltu yli 50 000 lajia, ja aikojen kuluessa valtava määrä nilviäislajeja on kuollut sukupuuttoon. Useimpien nilviäisten pehmeä ruumis on kalkkikuoren suojaama. Verenkierto on avoin, eli verisuonet aukeavat suoraan ruumiinonteloihin. Erityisesti pääjalkaisten hermosto ja aistit ovat hyvin kehittyneitä. Esimerkiksi mustekaloihin kuuluvat tursaat ovat tunnettuja hyvästä oppimiskyvystään. Nilviäisten lisääntyminen on aina suvullista.





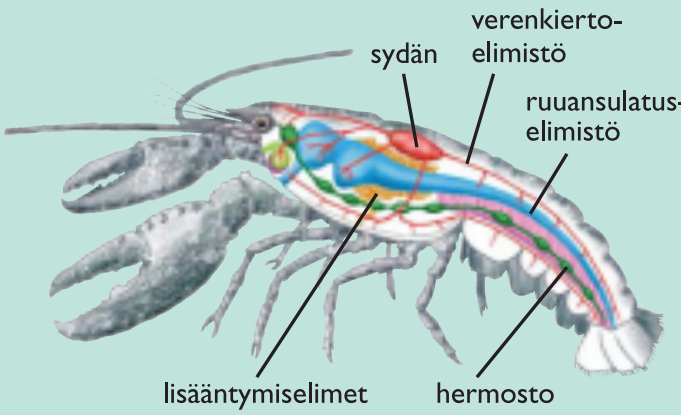
Nivelmatoja on yhteensä noin 15 000 lajia. Niihin kuuluvat muun muassa juotikkaat ja lierot. Nivelmatojen hermosto on rakenteeltaan tikapuumainen, ja sen etupäässä on kaksi suurta hermosolmua, jotka muistuttavat alkeellisia aivoja. Verenkierto on suljettu, ja verenkiertoelimistö muodostuu sykkivistä verisuonista. Sydäntä ei nivelmadoilla ole. Niiden hengityselimistönä toimii iho. Nivelmadot lisääntyvät suvullisesti, ja niillä on sisäinen hedelmöitys.

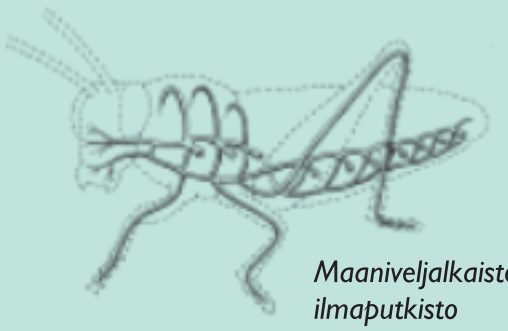
Kasteliero



Tarhakotilo

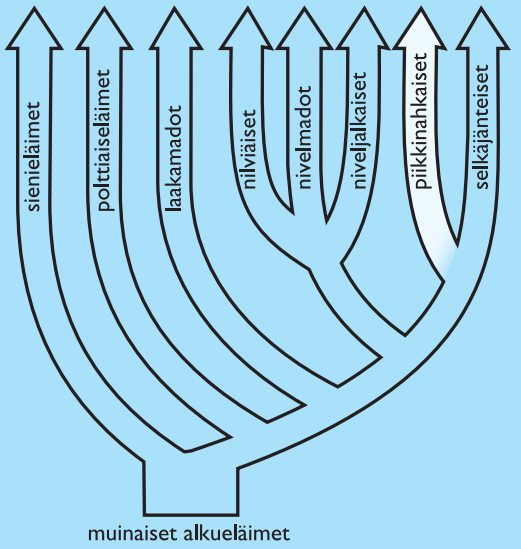
Niveljalkaiset muodostavat eläinkunnan suurimman pääjakson, sillä noin 80 prosenttia kaikista tällä hetkellä tunnetuista eläimistä kuuluu niveljalkaisiin. Niveljalkaisiin kuuluvat muun muassa hyönteiset, äyriäiset ja hämähäkkieläimet. Tällä hetkellä tunnetaan yli miljoona niveljalkaislajia, mutta uusia lajeja löydetään jatkuvasti. Niveljalkaisten ruumista suojaa kitiinikuori. Se toimii myös tukirankana ja lihasten kiinnittymiskohtana sekä estää veden haihtumista. Niveljalkaisilla on tikapuuhermosto, niille on kehittynyt monipuolinen aistijärjestelmä ja verenkierto on avoin. Maalla elävien niveljalkaisten hengityselimistönä toimii ilmaputkisto ja vedessä elävät niveljalkaiset hengittävät kiduksilla. Niveljalkaiset lisääntyvät suvullisesti ja niiden hedelmöitys on joko ulkoinen tai sisäinen. Niveljalkaisilla on paljon erilaisia lisääntymiseen liittyviä perittyjä käyttäytymiskaavoja. Hyönteisille on ominaista muodonvaihdos, jota säätelevät erityiset hormonit.





Maaniveljalkaisten ilmaputkisto

Piikkinahkaiset ovat merten eläimiä, ja niiden lajimäärä on noin 6 000. Piikkinahkaisiin kuuluvat esimerkiksi meritähdet ja merisiilit. Piikkinahkaisilla on sisäinen tukiranka, joka koostuu kalkkilevyistä, ja niiden hermosto on säteittäinen. Niiden liikunta-, ruuansulatus- ja hengityseliminä toimii vesiputkilosto ja siihen liittyvät imujalat. Piikkinahkaiset voivat lisääntyä sekä suvullisesti että suvuttomasti, ja niiden uusiutumiskyky on hämmästyttävän hyvä. Hedelmöitys tapahtuu yksilöiden ulkopuolella vedessä.



Merisiili

Rapu

Eläinten kehityksen seuraava askel – sisäinen tukiranka

Maapallon ilmasto viileni selvästi noin 450 miljoonaa vuotta sitten muun muassa mannerliikuntojen vuoksi. Alkoi ankara jääkausi, jolloin jäätiköt sitoivat merivettä ja merenpinta laski. Koska olosuhteet muuttuivat, valinta karsi osan olemassa olevista lajeista, ja syntyi tilaa ja myös uusia ekologisia lokeroita evoluution seuraavalle kehitysaskeleelle, selkäjänteisille.

Selkärangattomien eläinten tukiranka on yleensä ulkoinen tai sitä ei ole lainkaan, mikä rajoittaa eläimen kokoa ja liikkumista. Selkäjänteen ja sitä suojaavien nikamien kehittyminen oli tärkeä uusi rakenteellinen ratkaisu, jossa tukiranka kehittyi yksilön sisäpuolelle. Eläinten koko saattoi kasvaa, ja eläinten toiminnot kehittyivät entistä monipuolisemmiksi. Esimerkiksi luihin kiinnittyvien lihasten ansiosta liikkumisesta tuli tehokkaampaa. Varhaisimpiin selkäjänteisiin kuuluivat muun muassa nykyisin elävien suikulaisten esi-isät.

Suikulaisten esi-isistä alkoivat kehittyä ensimmäiset selkärankaiset, jotka olivat leuattomia alkukaloja. Ne liikkuivat kömpelösti, sillä niiden evät olivat hyvin vaatimattomat. Ravinnon hankintakin oli alkeellista, koska leuat ja hampaat puuttuivat. Leuattomia kaloja edustavat nykyään enää ympyräsuiset, joihin kuuluu esimerkiksi Suomen vesistöissä elävä nahkiainen.

Seuraavassa vaiheessa alkukaloille kehittyivät leuat, ja niiden tukiranka muodostui kokonaan rustosta. Evien koko kasvoi, mikä paransi kalojen liikkumiskykyä. Näillä rustokaloilla ei ollut uimarakkoa, joten ne eivät pystyneet säätelemään uintisyvyyttään. Sen vuoksi niiden piti pysyä jatkuvasti liikkeessä, jotta ne eivät olisi uponneet. Rustokalat kehittyivät monimuotoiseksi ryhmäksi, ja niiden joukossa oli myös todellisia valtamerten jättiläisiä. Yksi niistä oli 13 metrin mittaiseksi kasvanut jättihammashai. Nykyisin elävät rustokalat muistuttavat muinaisia esi-isiään hämmästyttävän paljon.

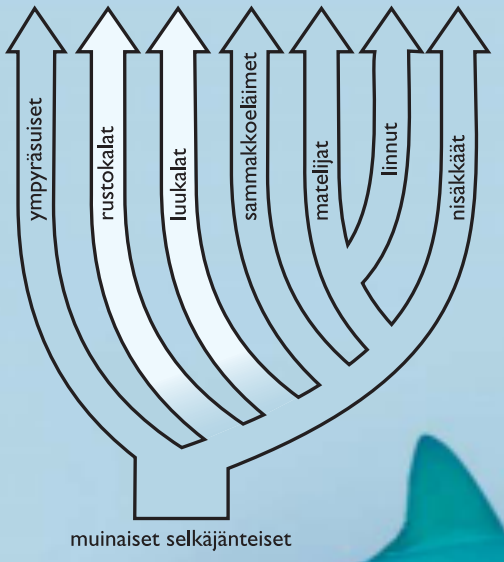
Luukalat kehittyivät noin 440 miljoonaa vuotta sitten. Niillä oli monia ylivertaisia piirteitä rustokaloihin verrattuna. Taipuisien evien ansiosta kalat saattoivat liikkua sulavammin. Uimarakon avulla luukalat pystyivät säätelemään uintisyvyyttään. Suomupeite ei ollut niin jäykkä kuin rustokalojen hammassuomuista koostuva iho. Kidusten toiminta oli nyt tehokkaampaa, joten vedestä oli yhä helpompi saada happea. Luukalat syrjäyttivät rustokalat merten valtiaina ja levittäytyivät vuorostaan hyvin monenlaisiin elinympäristöihin.

Nahkiainen on yksi Suomen erikoisimpia kaloja. Sen iho on täysin suomuton, sillä on seitsemän kidusaukkoa pään molemmin puolin sekä voimakas imukuppimainen suu. Se saa ravintonsa kiinnittymällä isäntäkalaan ja järsimällä sarveishampaiden avulla reiän kalan kylkeen. Nahkiainen loisii hyvin monilla eri kalalajeilla.

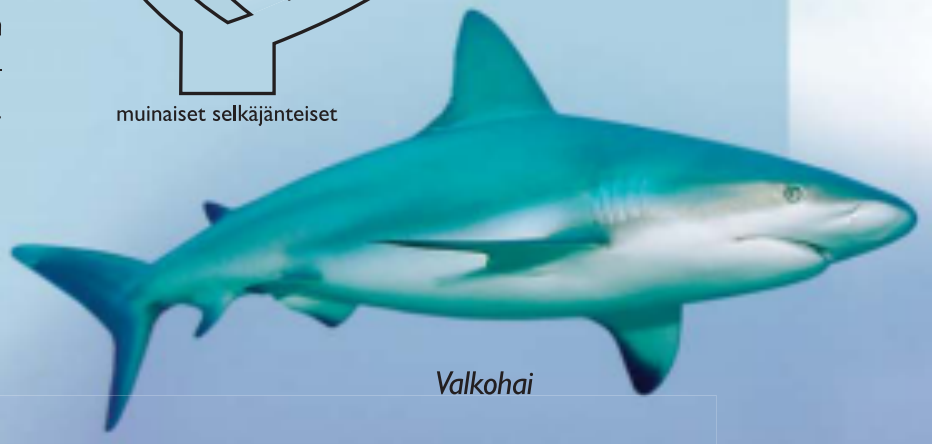
Nykyiset **kalat** ovat erittäin monimuotoinen eliöryhmä. Niitä on luokiteltu monin tavoin. Usein kalat jaetaan **luukalojen, rustokalojen** ja **ympyräsuisten** luokkiin. Suurin osa kaloista kuuluu luukaloihin, joita on noin 28 000 lajia. Rustokaloihin kuuluvat kaikki hai- ja rauskulajit. Kaikkien kalojen verenkierto on yksinkertainen, koska kalojen sydämessä on vain yksi eteinen ja yksi kammio. Toisin sanoen sydämeen tulee ja siitä lähtee hiilidioksidipitoista verta. Kaasujen, kuten hapen ja hiilidioksidin vaihtuminen tapahtuu yleensä kiduksissa. Rusto- ja luukaloilla on kuitenkin joitakin rakenteellisia ja ekologisia eroja.

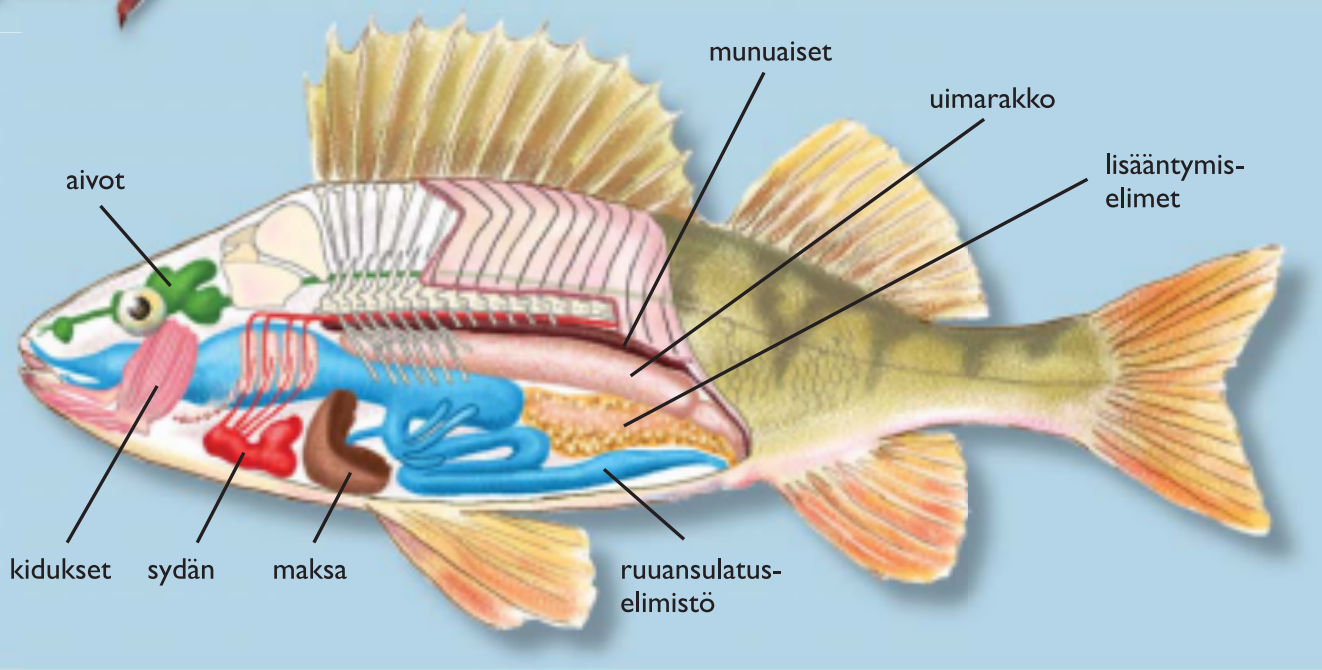
Rustokalojen tukiranka on muodostunut rustosta, niillä ei ole uimarakkoa ja niiden iho on hammassuomujen peittämä. Rustokaloilla on erittäin hyvä hajuaisti, ja lisäksi ne pystyvät tunnistamaan toisen eläimen ympärillä olevan heikon sähkökentän. Niillä voi olla myös joitakin erikoisia saalistuskeinoja, kuten myrkkypiikkejä tai sähköiskun antavia elimiä. Rustokaloilla on sisäinen hedelmöitys, ja ne joko synnyttävät eläviä poikasia tai munivat munia. Ne saavat kerralla paljon vähemmän poikasia kuin luukalat, enimmillään 10–20 jälkeläistä. Poikaset saavuttavat sukukypsyyden lajista riippuen vasta 6–18 vuoden ikäisinä. Useimmat hait ovat petoja, mutta suurikokoisimmat hailajit käyttävät ravintonaan planktonia. Rauskut taas elävät merten pohjalla ja syövät muun muassa nilviäisiä ja äyriäisiä.

Luukalojen tukiranka on puolestaan suurimmaksi osaksi tai kokonaan luutunut, ja niillä on uimarakko. Luukaloilla on ulkoinen hedelmöitys: naaras laskee veteen munasolut eli mädin ja koiras laskee niiden päälle siittiösolut eli maidin. Luukalat saavat paljon enemmän poikasia kuin rustokalat. Poikaset kehittyvät vapaasti vedessä, minkä vuoksi niiden kuolleisuus on kuitenkin hyvin suuri, vaikka monet kalalajit yrittävät suojella poikasiaan pedoilta niiden kehityksen alkuvaiheessa.



Nieriä


Valkohai



TEHTÄVÄT

1. Elämän synty

a. Mitä tarkoittaa kemiallinen evoluutio?
b. Mitä tarkoittaa biologinen evoluutio?
c. Miksi kemiallinen evoluutio ei nykymaapallolla ole mahdollinen?

2. Tärkeitä kehitysaskeleita

Miksi seuraavat kehitysaskeleet olivat tärkeitä eliökunnan evoluution käännekohtia?

a. fotosynteesin kehittyminen
b. monisoluisuus
c. sisäinen tukiranka
d. suvullinen lisääntyminen

3. Mitokondrioiden ja viherhiukkasten alkuperä

Mitkä seikat puoltavat sitä teoriaa, että mitokondriot ja viherhiukkaset ovat kehittyneet itsenäisinä elävistä bakteereista?

4. Erilaisia ja samanlaisia matoja

yo k-08

Perusrakenteeltaan erilaiset eläimet kuuluvat eri pääjaksoihin, mutta samanlaisessa elinympäristössä ne saattavat kehittyä muistuttamaan toisiaan. Laakamatojen pääjaksoon kuuluvat lattanat pystyvät lisääntymään suvuttomasti, nivelmadoista lierot (kastemadot) ovat kaksineuvoisia ja pääosin ristisiittoisia, sukkulamadot yksineuvoisia.

a. Selitä, mitä alleviivatuilla lisääntymisbiologisilla käsitteillä tarkoitetaan. (2 p.)
b. Vertaa suvuttoman lisääntymisen, itsesiittoisuuden ja ristisiittoisuuden hyötyjä ja haittoja. (4 p.)

5. Selkärangattomien pääjaksojen vertailua

Tee vihkoosi taulukko, jossa vertailet oppikirjassa kuvattuja selkärangattomien pääjaksoja seuraavien ominaisuuksien suhteen: ruumiinmuoto, hermosto, verenkiertoelimistö, ruuansulatuselimistö, hengityselimistö, lisääntyminen. Lisää taulukkoon jokaisesta pääjaksosta myös esimerkkilaji.

6. Elämän kehittyminen merissä

a. Mitkä olivat kemiallisen evoluution raaka-aineita ja energialähteitä? Mitä raaka-aineista syntyi?
b. Mitä elämän perusominaisuuksia oli alkusolulla?
c. Miksi valinta suosi fotosynteesiin ja soluhengitykseen kykeneviä eliöitä?
d. Miksi tumallisuus ja monisoluisuus antoivat uudet kilpailuedut eliöiden evoluutiossa?
e. Millaisia rakennemuutoksia tapahtui, kun selkärangattomista kehittyivät ensimmäiset selkäjänteisryhmät?

Kasteliero (15–20 cm)

Ansarilattana (4–5 cm)

Sukkulamato (2–3 mm)

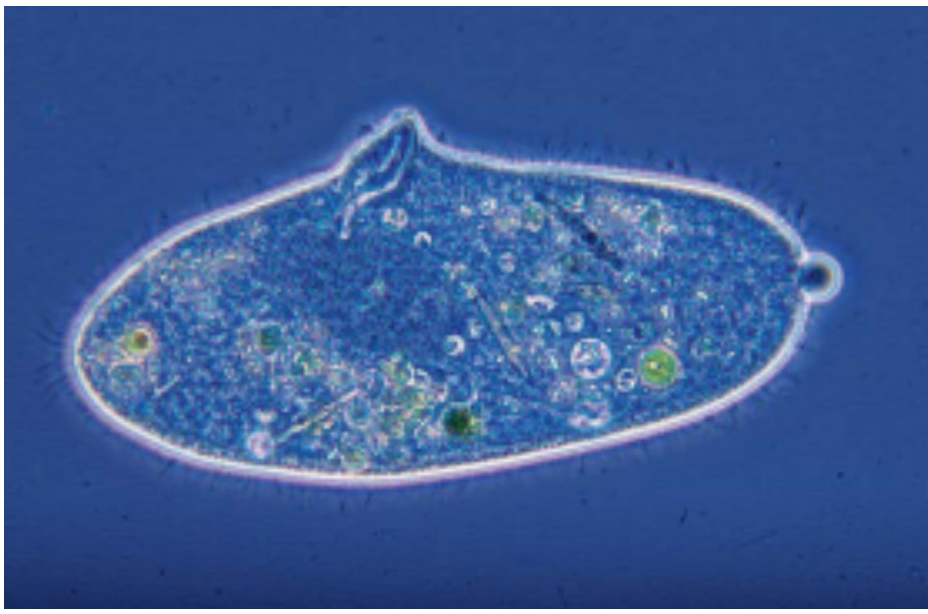
7. Tohvelieläimen elämää

Lue oheinen teksti ja vastaa seuraaviin kysymyksiin:

a. Mihin kuntaan *Paramecium bursaria* kuuluu?
b. Miten tämän lajin yhteiselämä viherlevien kanssa on yksi todiste endosymbioositeorian puolesta?
c. Miten tällaisen yhteiselämän kehittyminen on selitettävissä evoluutiovoimien avulla?

Yksisoluisiin tohvelieläimiin kuuluva *Paramecium bursaria* ei omaa viherhiukkasia, mutta se pystyy ”lainaamaan” niitä hyvin epätavallisella tavalla. Se nielee sisäänsä fotosynteesiin kykeneviä yksisoluisia viherleviä, mutta sen sijaan että se hajottaisi ne ravinnokseen, se varastoikin ne sisälleen.

Paramecium bursaria saattaa niellä sisäänsä niin paljon viherleviä, että se näyttää vihreältä. Kun se ui valoon, alkavat sen sisällä olevat viherlevät yhteyttää ja valmistaa sokeria, jota molemmat osapuolet käyttävät ravintonaan. *Paramecium bursaria* ei kuitenkaan ole ainoa yhteiselämästä hyötyvä osapuoli, vaan se toimii kuljettajana viherlevien kannalta hyville elinalueille ja jakaa ravintonsa viherlevien kanssa, jos ympäristön valo ei riitä yhteyttämiseen.



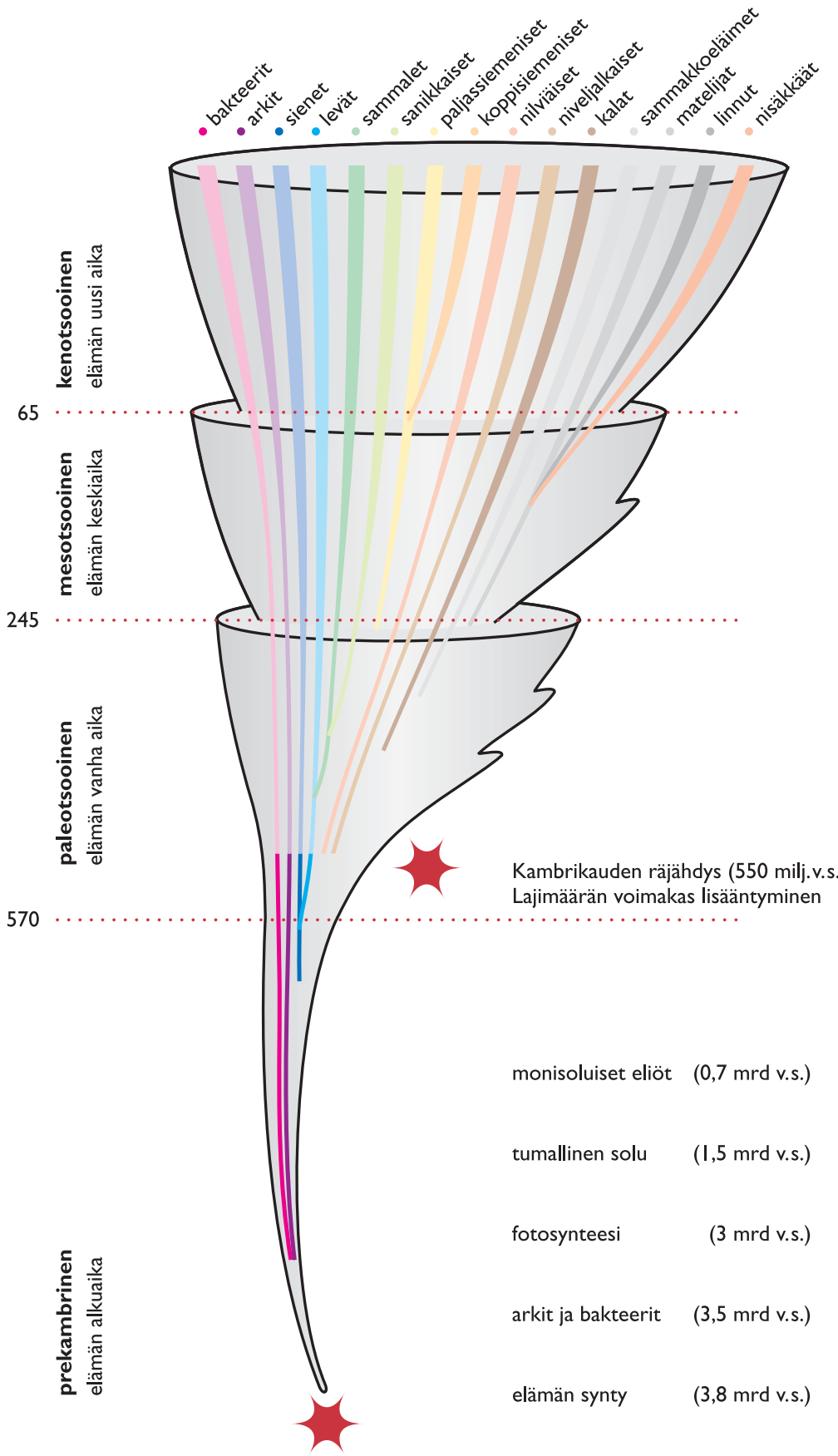
Paramecium bursaria

8. Esitumallisten merkitys

Perustele väite: ”Jos ei olisi esitumallisia eliöitä, ei olisi tumallisiakaan.”

Yhteenveto

Maapallon biodiversiteetin kehittyminen kambrikauden räjähdykseen saakka



Avainsanat

biologinen evoluutio
eläinsolu
endosymbioositeoria
esitumallinen solu
fotosynteesi
happi
kambrikauden räjähdys
kasvisolu
kemiallinen evoluutio
käymisreaktio
mitokondrio
monisoluisuus
selkäjänteiset
selkärangattomat
sienisolu
soluhengitys
tumallinen solu
viherhiukkanen

9.

Elämä siirtyy maalle

Olmit ovat 20–30 cm pitkiä sammakkoeläimiä, ja niitä esiintyy ainoastaan Etelä-Euroopassa kalkkikivivuoristojen maanalaisissa joissa ja järvissä. Olmien ulkonäkö ja rakenne kertovat sopeutumisesta ikuiseen pimeyteen. Niiden ihosta puuttuu pigmentti, joten ne ovat väritykseltään aavemaisen vaaleita. Olmien silmät ovat surkastuneet evoluution kuluessa, koska näköaistista ei pimeässä ole mitään hyötyä. Sen sijaan niiden kuulo-, haju- ja makuaisti ovat erinomaiset. Aikuisillakin olmeilla ulkoiset kidukset toimivat tärkeimpänä hengityselimistönä, vaikka sammakkoeläimet yleensä ovat maaympäristössä elämisen seurauksena sopeutuneet hengittämään keuhkoilla.

Kasvien ja sienten kehitys alkaa

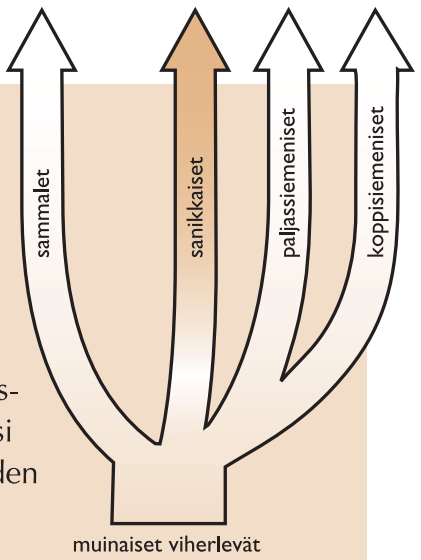
Vaikka levät olivat edelleen tärkeimpiä yhteyttäviä eliöitä, oli kosteille vuorovesirannoille kehittynyt jo yksinkertaisia sammalia, jotka olivat maakasvien ensimmäisiä edustajia. Niiden esi-isiä olivat monisoluiset viherlevät. Sammalet eivät olleet kuitenkaan täysin sopeutuneita maaelämään, koska niillä ei ollut tukisolukkoa ja niiden johtosolukko oli heikosti kehittynyt. Lisäksi sammalien lisääntyminen vaati kosteita oloja, koska niiden siittiöt liikkuvat veden mukana munasolujen luokse.

Sienten evoluutio liittyy maakasvien evoluutioon, koska monet sienet toimivat hajottajina tai elävät molempia osapuolia hyödyttävässä suhteessa jonkin kasvin kanssa. Sienistä on säilynyt vain vähän fos-

siileja, koska niissä ei ole fossiloitumista helpottavia kovia osia. Vanhimmat sienifossiilit ovat noin 500 miljoonan vuoden takaa. Noin 400 miljoonaa vuotta sitten ilmakehän happipitoisuus oli lähes saavuttanut nykyisen tasonsa: happea oli ilmakehässä 20 %. Suuren happipitoisuuden ansiosta myös otsonikerros oli vahvistunut, minkä seurauksena maapallon pinnalle pääsevän ultraviolettisäteilyn määrä oli laskenut elämän kannalta turvalliselle tasolle. Evoluutio oli valmis seuraavaan näytökseen eli maan valloitukseen.

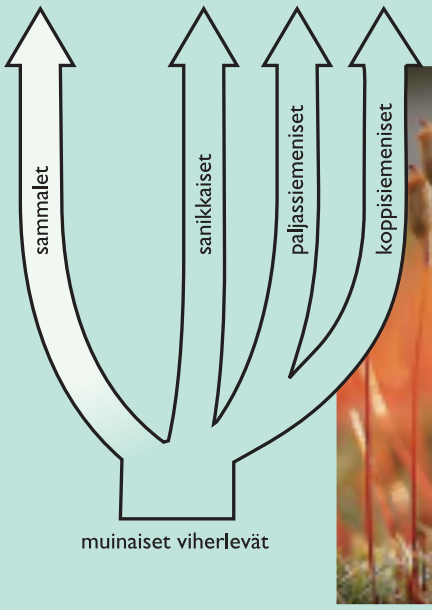
Maan valloitus

Kuiva maa elinympäristönä tarjosi eliöille paljon etuja. Kasveille riitti valoa ja hiilidioksidia, ja lajien välinen kilpailu oli aluksi vähäistä. Sammalet edustivat kasvikuntaa, mutta ne pystyivät elämään vain kosteilla alueilla. Ensimmäiset varsinaiset maakasvit, sanikkaiset, kehittyivät noin 400 miljoonaa vuotta sitten. Ne olivat sopeutuneet rakenteeltaan paremmin maaelämään kuin sammalet. Sanikkaisten varren sisällä oli aineiden kuljetukseen erikoistunut johtosolukko, ne ottivat vettä ja ravinteita juurillaan ja niiden pintasolukko kesti hyvin kuivuutta. Sanikkaisista kehittyi hyvin monimuotoinen ryhmä, ja ilmasto oli suotuisa suurten sanikkaismetsien kasvulle. Oli hyvin lämmintä ja kosteaa, ja ilmassa oli paljon hiilidioksidia.

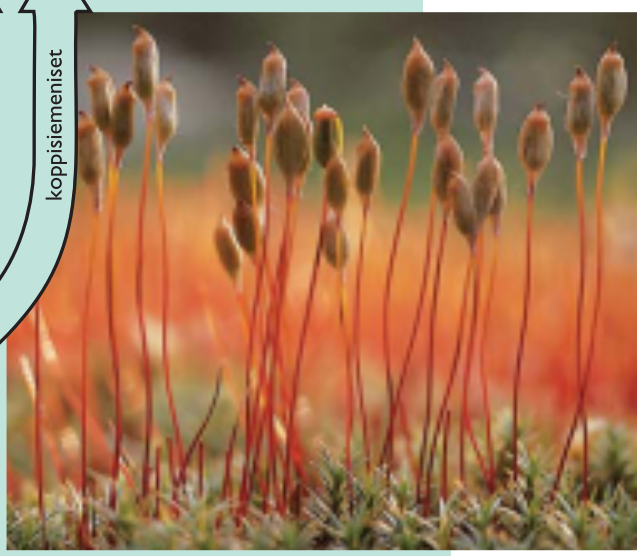


Sanikkaiset ovat rakenteeltaan monimutkaisempia itiökasveja. Niihin kuuluu kolme luokkaa: **liekokasvit**, **kortteet** ja **saniaiset**. Nykyisin tavattavilla sanikkaisilla on kasvin kaikki osat: juuri, varsi ja lehdet. Niillä on aineiden kuljetuksesta huolehtivat johtojänteet, joiden puuosassa kulkee vesi ja siihen liuenneet ravinteet ja nilaosassa kulkee vesi ja veteen liuennut sokeri. Myös sanikkaisilla vuorottelevat suvuton, itiöiden avulla tapahtuva ja suvullinen lisääntyminen, ja samoin kuin sammalet, nekin tarvitsevat hedelmöityksen onnistumiseksi kosteat olosuhteet.

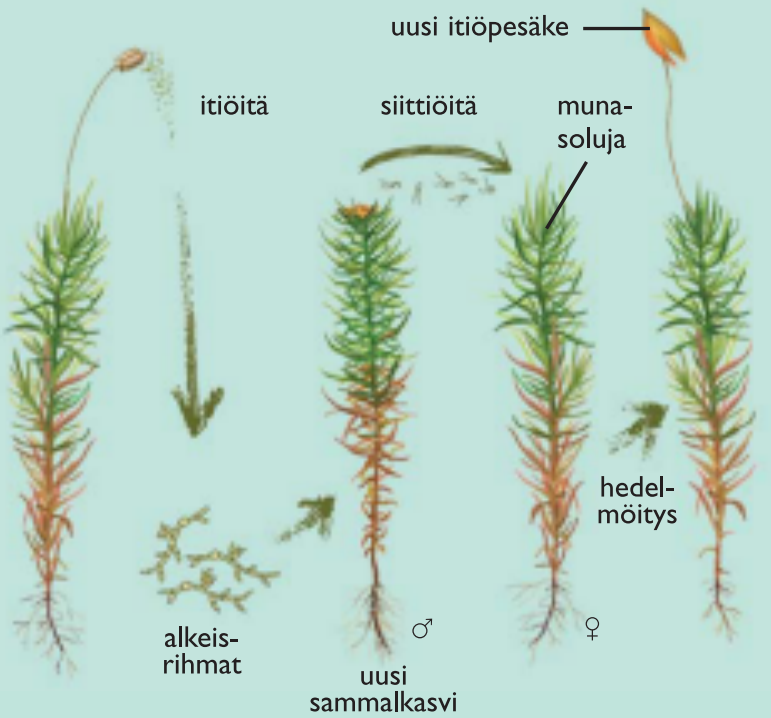
Sammalet ovat pienikokoisia, usein kosteiden kasvupaikkojen kasveja. Sammalia tunnetaan noin 20 000 erilaista lajia. Sammalilla on varsi ja lehdet, mutta ei juuria. Niiden johtosolukko on heikosti kehittynyt tai se puuttuu kokonaan. Sammalien lisääntymiseen kuuluu sekä suvullinen että suvuton vaihe. Sammalkasvin tai sen haarojen kärkeen syntyy muna- ja siittiöpesäkkeitä. Siittiösolut tarvitsevat vettä pystyäkseen uimaan munasolun luokse ja suorittamaan hedelmöityksen. Hedelmöityneestä munasolusta kasvaa itiöpesäke sammalkasvin kärkeen. Itiöpesäkkeistä vapautuu itiöitä, joista maahan päästyään kasvaa alkeisrihmoja. Alkeisrihmaan kehittyy silmuja, joista kasvaa uusi sammalkasvi.



Törmähiekkasammal



Sammalen lisääntyminen

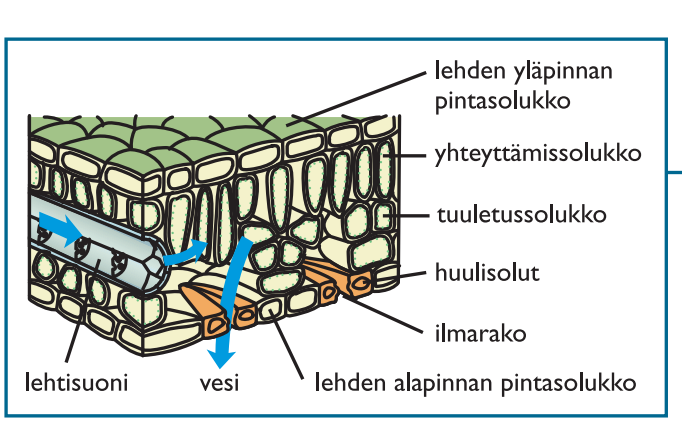


Maalla elävien kasvien rakenne kertoo niiden sopeutumisesta

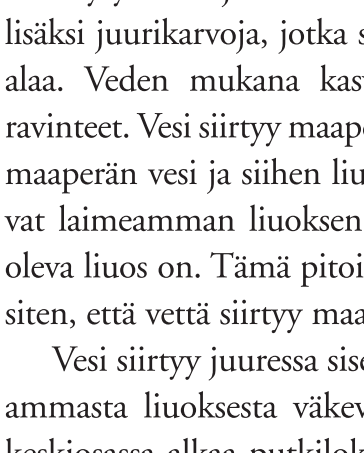
Maakasvit ottavat veden maaperästä juurillaan, jotka levittäytyvät laajalle alueelle. Kasveilla on juurissaan lisäksi juurikarvoja, jotka suurentavat vedenottopinta-alaa. Veden mukana kasvi saa myös tarvitsemansa ravinteet. Vesi siirtyy maaperästä juuren soluihin, koska maaperän vesi ja siihen liuenneet ravinteet muodostavat laimeamman liuoksen kuin juuren solujen sisällä oleva liuos on. Tämä pitoisuusero pyrkii tasoittumaan siten, että vettä siirtyy maaperästä juuren soluihin.

Vesi siirtyy juuressa sisemmäksi solu solulta laimeammasta liuoksesta väkevämpään liuokseen. Juuren keskiosassa alkaa putkilokasveilla johtosolukko, jossa on aineiden kuljetukseen erikoistuneita johtojänteitä. Johtojänteet jatkuvat juuresta varteen. Kun johtojännettä tarkastellaan mikroskoopilla, siinä voidaan nähdä puuosa ja nilaosa. Vesi ja ravinteet kulkevat puuosan putkiloissa, ja fotosynteesissä syntyneet tuotteet nilaosan siiviläputkissa. Lehdissä putkilot jatkuvat lehtisuonina, joista vesi siirtyy yhteyttämissolukon viherhiukkasiin.

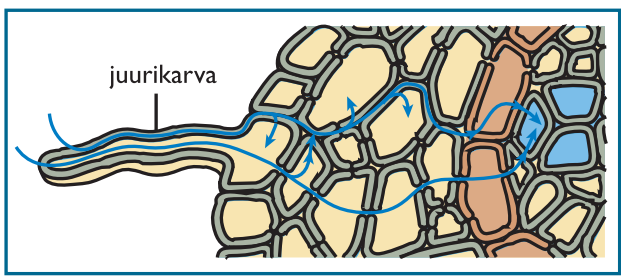
Suurin osa kasvin ottamasta vedestä haihtuu lehden alapinnalla sijaitsevien ilmarakojen kautta. Tämä ns. haihtumisimu saa yhdessä vesimolekyylien välisen vetovoiman kanssa veden nousemaan versossa ylöspäin. Vesimolekyylien välinen vetovoima sitoo ne toisiinsa pitkäksi yhtenäiseksi molekyylijonoksi. Ilmaraoista haihtuu yksi vesimolekyyli kerrallaan, jolloin vesimolekyylijono siirtyy ylöspäin ja juuressa siihen liittyy uusi vesimolekyyli. Jos molekyylijono katkeaa, veden nousu loppuu. Veden nousua kasvissa edistää myös ohuiden putkiloiden aiheuttama kapillaari-ilmiö.



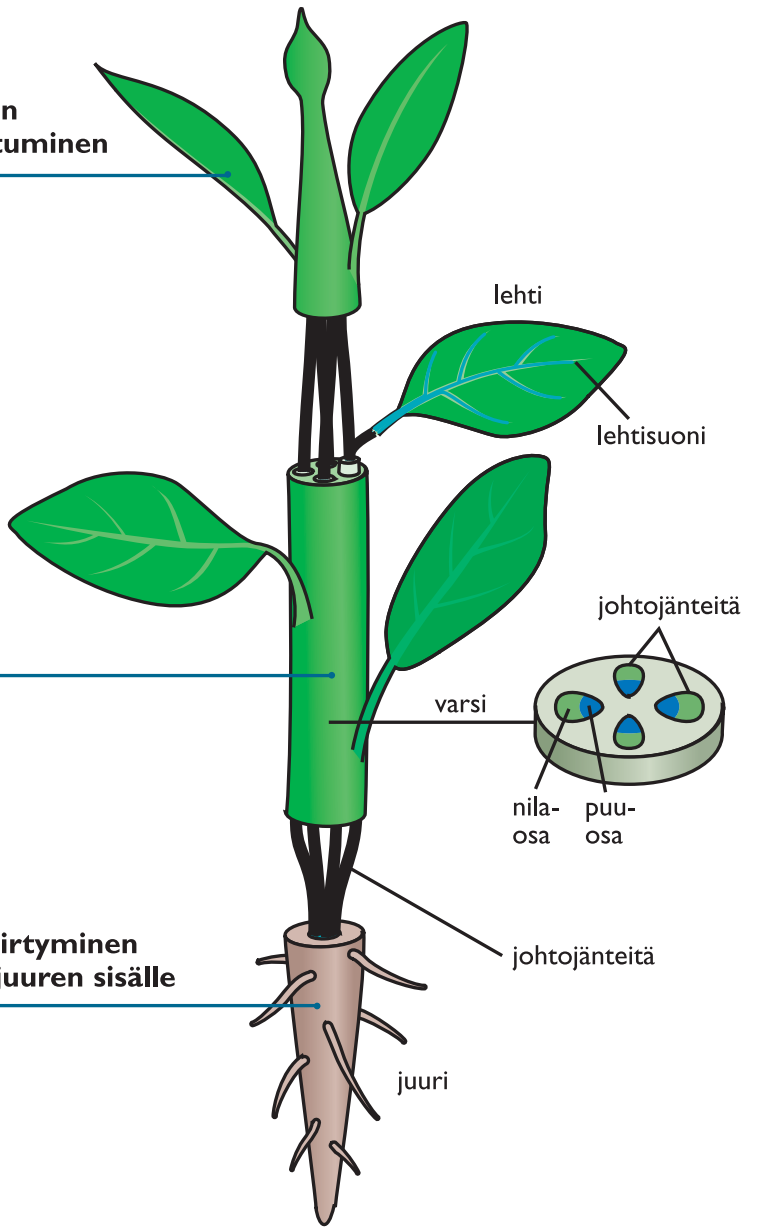
3. Veden haihtuminen



2. Veden nousu



1. Veden siirtyminen maasta juuren sisälle



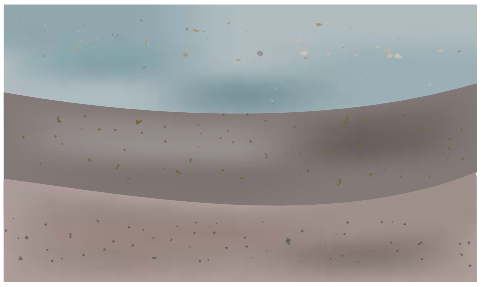
Sammakkoeläimet olivat ensimmäisiä maalla eläneitä selkärankaisia

Samanaikaisesti kasvien kanssa alkoivat maalle nousta myös eläimet. Ensimmäiset maaeläimet olivat selkärangattomia niveljalkaisia, jotka muistuttivat nykyisiä tuhatjalkaisia ja skorpioneja. Vanhimmat maalla elä-neiden selkärankaisten fossiilit ovat noin 360 miljoonaa vuotta vanhoja sammakkoeläinten fossiileja. Sammakkoeläimet kehittyivät ilmeisesti joissa ja jokisuistoissa eläneistä varsieväkaloista. Sammakkoeläinten raajat sopivat paremmin maalla kuin vedessä liikkumiseen, ja niiden keuhkot ja verenkierto olivat kehittyneet tehokkaiksi. Lisääntyminen tapahtui kuitenkin edelleen ulkoisesti, ja poikaset kehittyivät vedessä aikuisiksi yksilöiksi muodonvaihdoksen kautta. Täysikasvuistenkaan sammakoiden iho ei kestänyt kunnolla kuivuutta, koska osa hengityksestä tapahtui kostean ihon kautta.

Sammakkoeläimet kehittyivät seuraavan 150 miljoonan vuoden aikana hyvin monimuotoiseksi ryhmäksi. Niihin kuului kasvinsyöjiä ja petoja, ja ne olivat erikoistuneet elämään kosteissa elinympäristöissä. Niille kehittyi erilaisia saalistus-, naamiointi- ja viestimiskeinoja, kuten monenlaisia kuviointeja ja värejä. Eräät niistä kasvoivat useiden metrien pituisiksi jättiläissammakoiksi. Sammakkoeläinten heikkoutena oli riippuvaisuus vedestä, ja sen vuoksi niistä ei voinut tulla oikeita maan valloittajia. Nykyisin elävät sammakkolajit ovat vain pieni osa siitä määrästä, mikä eli maapallolla sammakkoeläinten kukoistuskaudella.

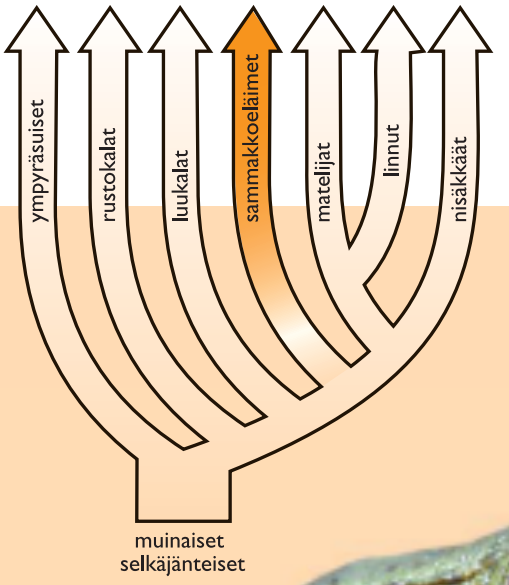
Maapallolla oli laajoja sanikkaismetsiä 300 milj. vuotta sitten.

Suoalueille ja mataliin vesistöihin kerääntyi kuollutta kasviainesta.



Hiekka ja savi peittivät maatuvan kasviaineksen, joka kovan paineen alla puristui kivihiileksi.

Maapallon kivihiilivarat ovat peräisin sanikkaisten valtakaudelta noin 300 miljoonan vuoden takaa.



Sammakkoeläimiä tunnetaan noin 4200 lajia, ja suurin osa niistä elää tropiikissa. Uusia lajeja löydetään joka vuosi lisää. Sammakkoeläimet pystyvät liikkumaan maalla neljän raajansa avulla. Ne ovat vaihtolämpöisiä eläimiä, mikä merkitsee sitä, että niiden ruumiinlämpö on sama kuin ympäristön lämpötila eivätkä ne pysty itse säätelemään lämpötilaansa. Sammakkoeläimillä on ulkoinen hedelmöitys, ja niiden poikaset kehittyvät toukkavaiheessa vapaasti vedessä. Toukat hengittävät kiduksilla, mutta täysikasvuiset sammakot hengittävät keuhkoilla. Sammakkoeläimille myös ihon kautta hengittäminen on tärkeää, ja sen vuoksi täysikasvuisten sammakoiden ihon täytyy pysyä kosteana. Sammakkoeläinten ihossa on myös rauhasia, jotka erittävät limaa ja toisinaan myös myrkkyä.

Vihersammakko (Rana esculenta)

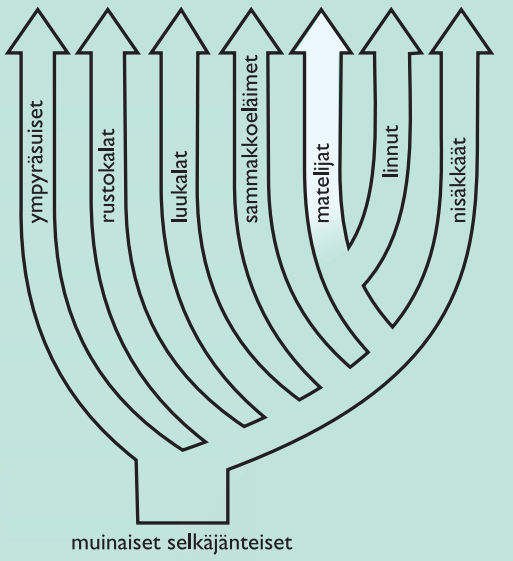
Ilmaston muutos antoi vallan hirmuliskoille

Noin 250 miljoonaa vuotta sitten maapallon ilmasto kuivui huomattavasti. Sanikkaiset ja sammakkoeläimet eivät selviytyneet kilpailussa enää yhtä hyvin kuin aiemmin, vaan luonnonvalinta suosi uusia eliöryhmiä. Sammakkoeläimistä kehittyi matelijoita, jotka olivat ensimmäisiä täysin maaelämään sopeutuneita selkärankaisia. Matelijoissa oli useita tärkeitä eroja sammakkoeläimiin verrattuna. Niiden raajat ja tukiranka olivat sopeutuneet sammakkoeläimiä paremmin maalla liikkumiseen. Matelijoiden iho kesti paremmin kuivuutta, ja matelijoiden verenkierto- ja hengityselimistö olivat kehittyneet entistä tehokkaammiksi. Valinta suosi sellaisia yksilöitä, joiden hermosto ja aistit olivat monipuolisempia, koska maalla oli uudenlaisia ärsykkeitä, joihin piti pystyä reagoimaan. Tärkeitä uusia edistysaskeleita olivat kuitenkin sisäinen siitos ja munan kehittyminen, jotka muuttivat alkionkehitystä tehokkaammaksi. Munasoluun ja sen ympärille kerääntyi vararavintoa, jonka varassa jälkeläisen alkionkehitys saattoi tapahtua. Munan sisälle olivat kehittyneet myös alkiokalvot. Munan ja alkiokalvojen välityksellä saatiin alkionkehitykselle välttämätön vesiympäristö siirrettyä maalle. Matelijoiden munasolun ympärille kehittyi vielä kova pintakerros, munankuori, joka suojeli poikasta kuivumiselta ja kolhuilta.

Samaan aikaan kun matelijat kehittyivät yhä monimuotoisemmaksi eliöryhmäksi, kehittyivät paljassiemeniset kasvit, joihin kuului muun muassa erilaisia havupuita ja käpypalmuja. Paljassiemenisten kilpailuvalttina oli se, että niiden lisääntyminen ei ollut enää vedestä riippuvaista. Paljassiemenisten kasvien siittiöt oli pakattu kuivuutta kestävään muotoon eli siitepölyksi, ja niiden oli helppo päästä tuulen kuljettamina munasolujen luokse. Uuden lisääntymistavan ansiosta paljassiemeniset kasvit sopeutuivat elämään kuivilla alueilla, mitä auttoi myös lehtien muuttuminen pieniksi ja vahapeitteisiksi. Tärkeänä uutena rakenteena paljassiemenisillä oli siemen, joka sisälsi kasvialkion ja sitä ympäröivän vararavinnon. Siementä ympäröimään ja suojaamaan kehittyi siemenkuori.

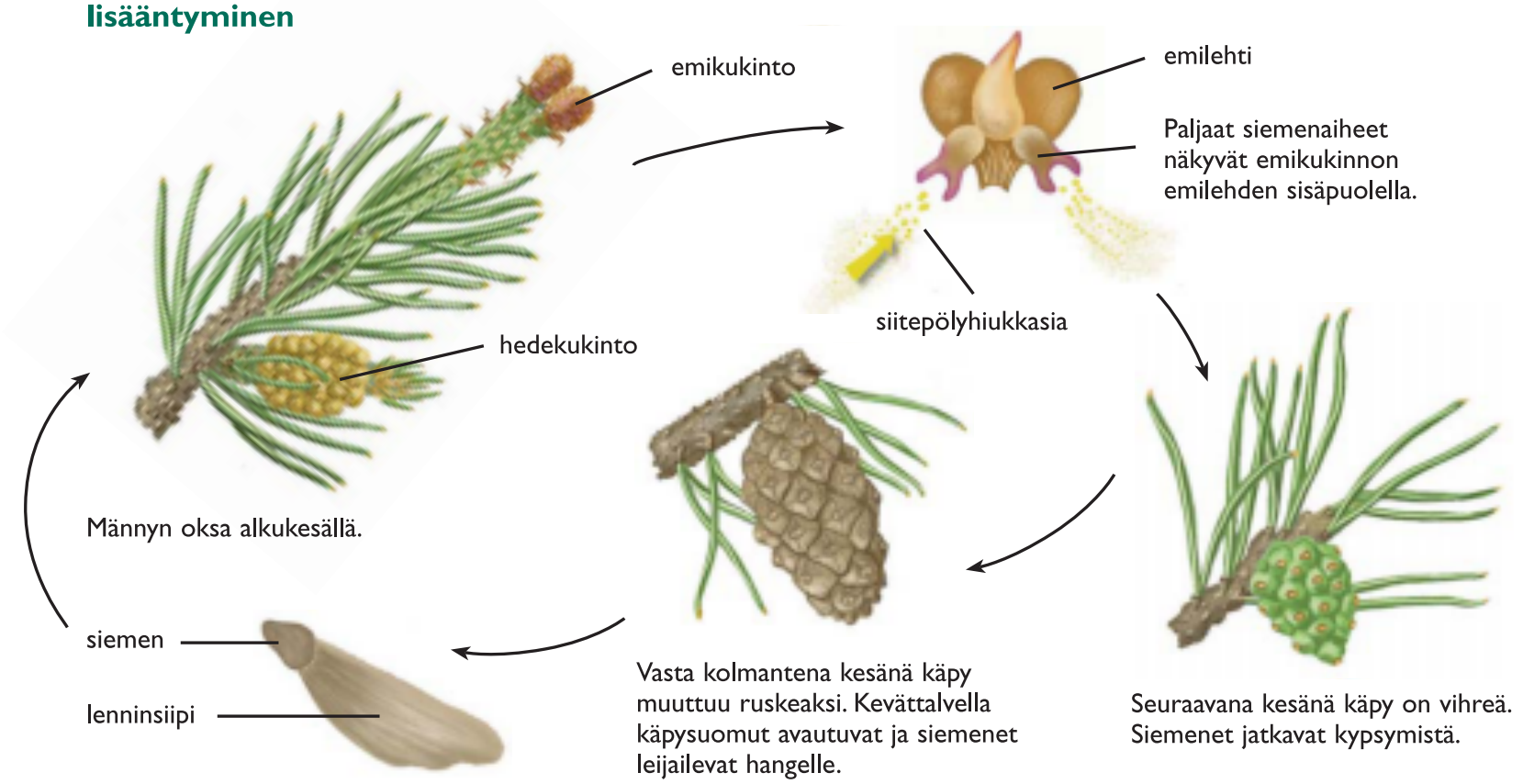
Samaan aikaan kun maapalloa hallitsivat varhaisemmista matelijoista kehittyneet hirmuliskot ja erilaiset paljassiemeniset kasvit, alkoivat nykyiset maapallon valtiaat kehittyä. Niiden ensimmäiset muodot olivat pieniä ja vaatimattomia, mutta ne olivat valmiina, kun seuraava massasukupuutto tapahtui.

Matelijoita ovat käärmeet, kilpikonnat, liskot ja krokotiilit. Käärmeiden raajat ovat surkastuneet, mutta muut matelijat sen sijaan liikkuvat neljällä raajalla. Matelijat hengittävät keuhkoilla ja niiden iho on sarveissuomujen tai -levyjen peitossa, mikä estää tehokkaasti kuivumista. Matelijoilla on sisäinen hedelmöitys, ja poikaset kehittyvät munan sisällä. Jotkin matelijalajit tosin synnyttävät eläviä poikasia, jolloin poikaset kehittyvät emon munanjohtimissa. Kaikki matelijat ovat vaihtolämpöisiä. Ne voivat kuitenkin säädellä ruumiinsa lämpötilaa eri tavoin, esimerkiksi hakeutumalla auringonpaisteeseen tai suuriin ryhmiin, jolloin lajitoverit lämmittävät toinen toisiaan. Nykyään maapallolla elää 6 300 matelijalajia, mikä on vain murto-osa matelijoiden valtakauden lajimäärästä.

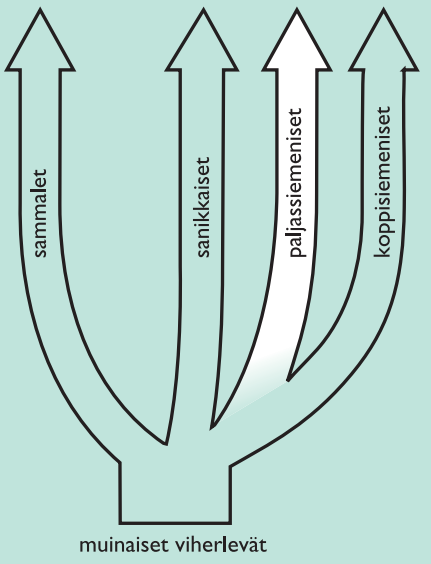


Smaragdipuuboa (Corallus caninus)

Paljassiemenisen lisääntyminen



Paljassiemenisiä kasveja on nykyään maapallolla noin 800 lajia. Paljassiemenisiin kasveihin kuuluvat muun muassa kaikki havupuut, käpypalmut ja neidonhiuspuu. Paljassiemenisten joukossa on todellisia jättiläisiä, kuten yli sata metriä korkeita punapuita. Paljassiemenisten siemenaiheet kehittyvät siemeniksi emilehtien pinnalla. Pölytys eli siitepölyn pääsy kukan emille tapahtuu tuulen välityksellä, ja hedelmöitys tapahtuu sisäisesti. Siemenet leviävät ympäristöönsä joko erityisten lenninsiipien lennättäminä tai siemeniä syövien lintujen kuljettamina.



Hirmuliskojen sukupuuton myötä valtaan nousivat uudet eliöryhmät

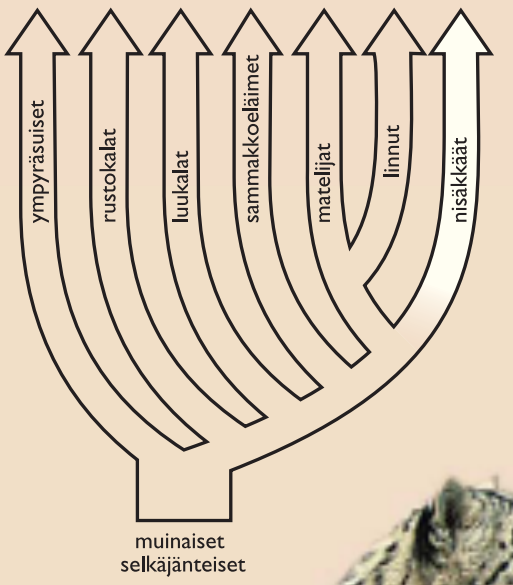
Hirmuliskot hävisivät maapallolta noin 65 miljoonaa vuotta sitten. Teorioita niiden häviämisen syistä on esitetty useita, mutta todennäköisimpänä syynä pidetään lämpötilan laskua maapallolla. Lämpötilan lasku on ilmeisesti johtunut maapallolle törmänneestä valtavasta meteoriitista, jonka nostattama pölypilvi esti tehokkaasti auringonsäteilyn pääsemistä maan pinnalle. Ainoastaan osa kasvilajistosta pystyi sopeutumaan lämpötilan laskuun ja valon puutteeseen, ja tämä taas puolestaan vaikutti hirmuliskojen ravinnonsaantiin. Koska ainakin osa hirmuliskoista oli ilmeisesti vaihtolämpöisiä, eivät ne senkään vuoksi enää menestyneet ilmaston viilenemisen jälkeen.

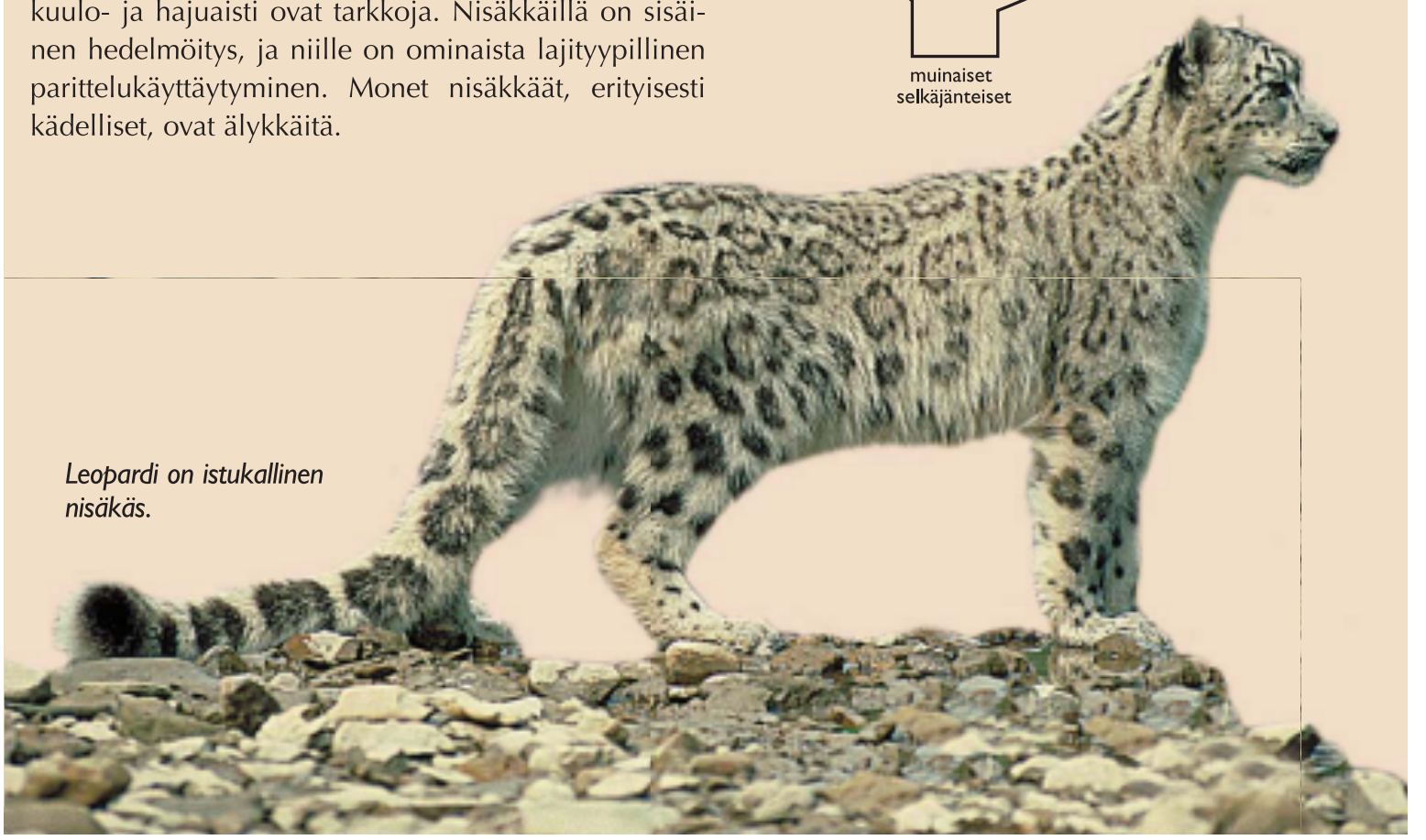
Jo hirmuliskojen aikakaudella oli elänyt nisäkäsliskoista kehittyneitä vaatimattomia nisäkkäitä, liskolinnuista kehittyneitä lintuja ja paljassiemenistä kehittyneitä koppisiemenisiä. Niille ei ollut kuitenkaan vielä kunnolla elintilaa, ja vasta hirmuliskojen lopullisesti

hävittyä alkoi nisäkkäiden, lintujen ja koppisiemenisten nopea evoluutio. Alkunisäkkäät kehittyivät kolmeen suuntaan: nokkaeläimiksi, pussieläimiksi ja istukallisiksi nisäkkäiksi. On mahdollista, että pussieläimet eivät menestyneet kilpailussa nisäkkäiden kanssa, koska niiden alkionkehitys ei ole yhtä turvattua kuin istukallisilla nisäkkäillä. Pussieläimen poikasen kehitys alkaa kyllä kohdussa, mutta poikanen ei kehity siellä valmiiksi, vaan se joutuu ryömimään emonsa vatsapussiin. Siellä poikanen imee ravintoa emonsa nisästä, kunnes on täysin kehittynyt. Pussieläimiä elää enää pääasiassa Australiassa, koska Australia erkani varhain muista mantereista eivätkä istukalliset nisäkkäät päässeet vaeltamaan sinne.

Istukallisten nisäkkäiden alkionkehitys tapahtuu kohdussa, ja sikiö saa ravintoa emoltaan istukan ja napanuoran kautta. Poikasista huolehditaan hyvin niiden syntymän jälkeen, ja emo turvaa niiden ravinnonsaannin imettämällä. Kaikki nisäkkäät ovat tasalämpöisiä, ja niillä on erilaisia keinoja ylläpitää tasaista ruumiin lämpötilaa.

Nisäkkäitä on tunnistettu noin 4 600 lajia. Nisäkkäät jaetaan nokkaeläimiin ja varsinaisiin nisäkkäisiin. Kaikki nisäkkäät ovat tasalämpöisiä ja yleensä karvapeitteisiä. Nokkaeläimet muistuttavat monessa suhteessa matelijoita, ne muun muassa munivat munia. Varsinaisiin nisäkkäisiin kuuluvat pussieläimet ja istukalliset nisäkkäät. Varsinaiset nisäkkäät synnyttävät eläviä poikasia ja emo ruokkii poikasia maidolla. Poikasista pidetään muutenkin hyvää huolta. Nisäkkäiden aineenvaihdunta on tehokasta, joten nisäkkäiden ruumiinlämpö pysyy tasaisena. Erityisesti nisäkkäiden kuulo- ja hajuaisti ovat tarkkoja. Nisäkkäillä on sisäinen hedelmöitys, ja niille on ominaista lajityypillinen parittelukäyttäytyminen. Monet nisäkkäät, erityisesti kädelliset, ovat älykkäitä.





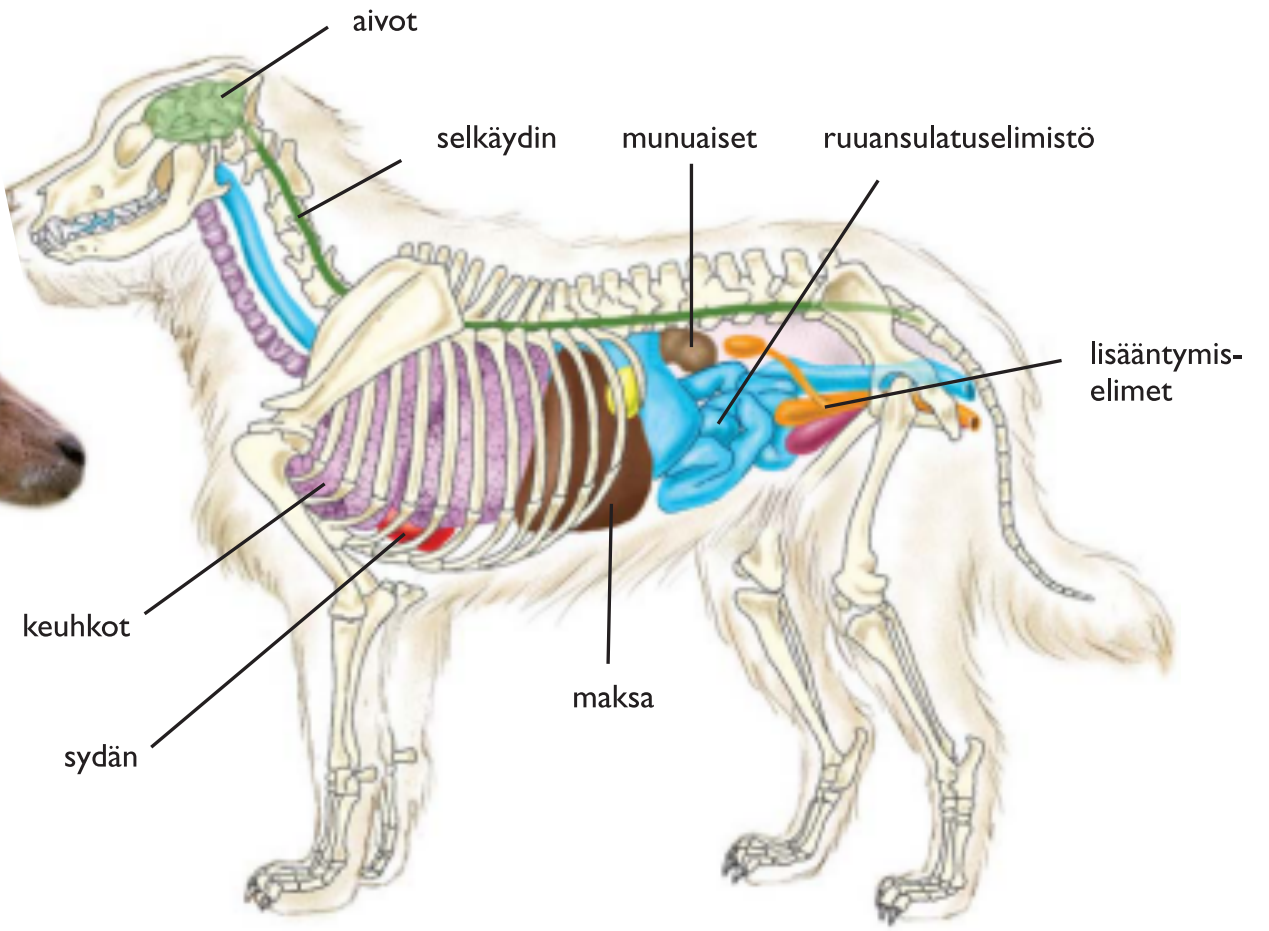
Leopardi on istukallinen nisäkäs.

Matelijoista kehittyi nisäkkäiden lisäksi myös toinen suuri eläinkunnan luokka, linnut. Lintujen rakenteessa oli tapahtunut uudenlainen edistysaskel: eturaajat olivat muuttuneet höyhenpeitteisiksi siiviksi ja luusto oli keventynyt. Näin linnut pystyivät sopeutumaan uuteen liikkumistapaan, lentämiseen, ja valtaamaan tehokkaasti uuden elinympäristön.

Linnut ovat nisäkkäiden ohella toinen tasalämpöinen eläinryhmä. Linnuilla on sisäinen hedelmöitys, ja parittelua edistävät usein hyvinkin monimutkaiset soidinmenot. Poikaset kehittyvät munan sisällä alkiokalvojen ympäröiminä.

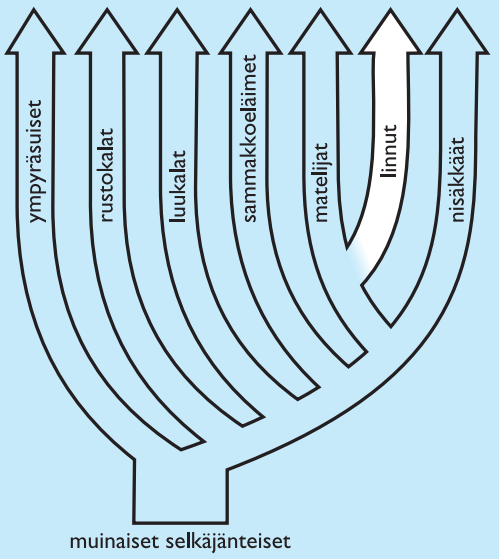
Aikojen kuluessa linnuista on tullut yksi menestyneimmistä selkärankaisluokista. Joillakin lajeilla, kuten tervapääskyillä ja kolibrilla, lentotaito on kehittynyt äärimmilleen. Eräät linnut ovat puolestaan menettäneet lentotaitonsa.

Kenguru kuuluu pussieläimiin.

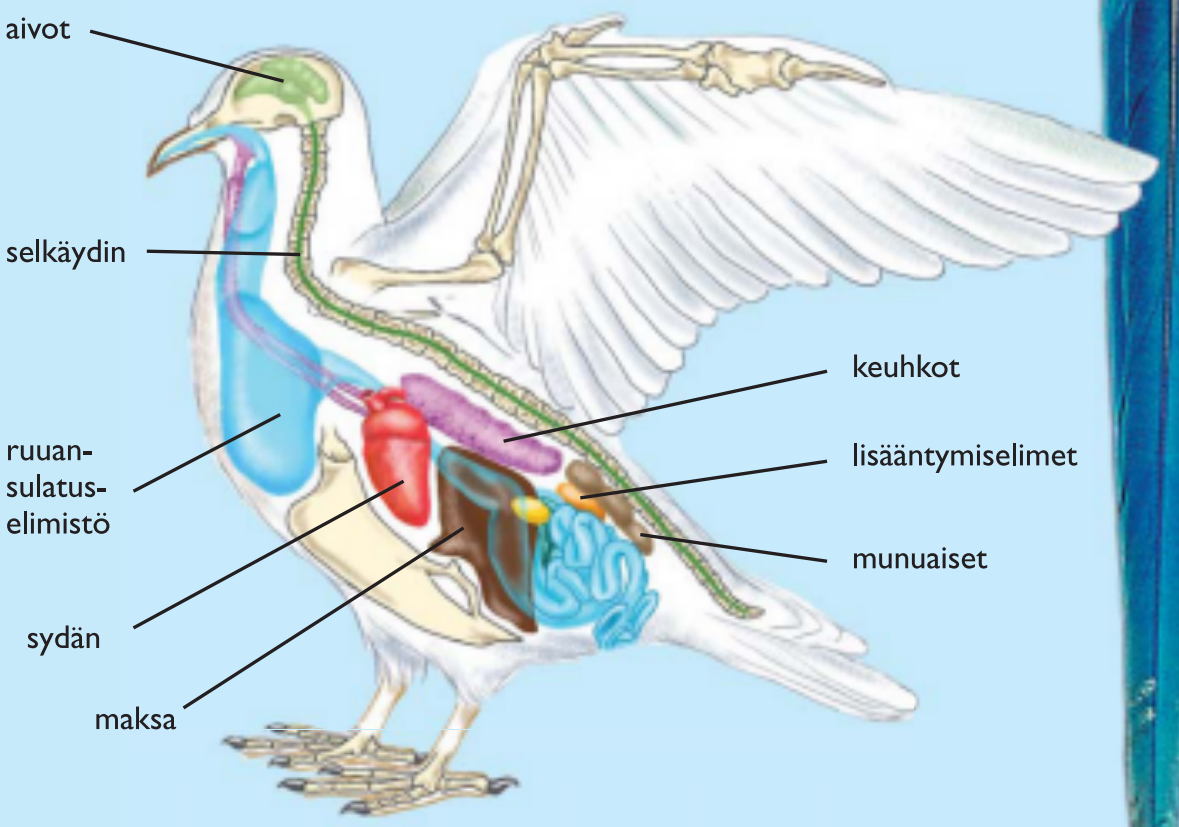


Vesinokkaeläimiä, munivia nisäkkäitä, elää ainoastaan Itä-Australiassa ja Tasmaniassa. Niillä on erikoisia ominaisuuksia verrattuna muihin nisäkkäisiin. Ne ovat esimerkiksi sopeutuneet liikkumaan vedessä hyvin, sillä eturaajat ovat kehittyneet isoiksi uimaräpylöiksi. Lisäksi vesinokkaeläimillä ei ole nisiä, vaan poikaset nuolevat maitoa suoraan emon vatsasta ihokarvojen välistä.

Lintuja tunnetaan noin 9 400 lajia. Niiden rakenne on sopeutunut lentämiseen: luut ovat onttoja ja kevyitä ja höyhenpeite edistää osaltaan lentämistä. Lintujen keuhkoista haarautuu ilmapusseja sisäelinten väleihin, mikä tehostaa lintujen hengitystä. Ruuansulatuselimistö on kehittynyt tehokkaaksi, koska lentäminen kuluttaa paljon energiaa. Munan ruskuainen on ravintoa kehittyville alkioille, valkuainen antaa suojaa, ja kaasut vaihtuvat huokoisen kalkkikuoren läpi. Kaikilla linnuilla on värinäkö, ja lisäksi jotkut lajit pystyvät näkemään ultraviolettisäteilyä. Eräät linturyhmät, kuten varislinnut ja papukaijat, ovat älykkäitä.



Arapapukaija



Kolibri (Colibri thalassinus) nauttimassa mettä erään matarakasvien heimoon kuuluvan trooppisen päällyskasvin kukasta. Samalla se huolehtii kukan pölyttämisestä. Kolibrit ovat erikoistuneet pitkäteriöisiin kukkiin, koska hyönteiset eivät yleensä ylety niin syvällä oleviin mesivaroihin.

Keski-Amerikassa kasvavan hernekasveihin kuuluvan kasvin (Mucuna argyrophylla) pölytyksestä huolehtivat yöllä lentävät lepakot. Ne juovat korkealla riippuvista kukista mettä ja samalla kuljettavat siitepölyä kukasta toiseen.

Kimalaiset ovat merkittäviä hernekasvien, kuten hiirenvirnan pölyttäjiä kylmässä Pohjolassa, koska ne työskentelevät myös viileällä säällä. Kimalaisten imukärsä ylettyy helposti pitkien ja kapeiden kukintojen pohjalle ja karvaiseen ruumiiseen tarkertuu hyvin siitepölyhiukkasia.

TAUSTATIETOA

Elinympäristön muutokset vaikuttivat ihmisen evoluutioon

Ilmasto itäisessä Afrikassa alkoi kuivua noin 12 miljoonaa vuotta sitten, ja sademetsät joutuivat väistymään metsäsavannien tieltä. Itä-Afrikassa elävät kädellispopulaatiot joutuivat alttiiksi uusille valintapaineille, koska esimerkiksi liikkuminen ja ravinnonhankinta ei voinut tapahtua samalla tavalla kuin sademetsissä. Ihmiseen johtava kehityslinja erkani simpansseihin johtavasta kehityslinjasta noin 7 miljoonaa vuotta sitten. Ensimmäiset ihmisen kehityslinjan edustajat olivat metsäsavanneilla eläviä apinaihmisiä, jotka kävelivät pystyasennossa ja osasivat käyttää alkeellisia työkaluja. Aivojen koko niillä oli edelleen sama kuin simpansseilla, 500 cm^3. Apinaihmisiin kuuluivat mm. *Australopithecus*-suvun edustajat.

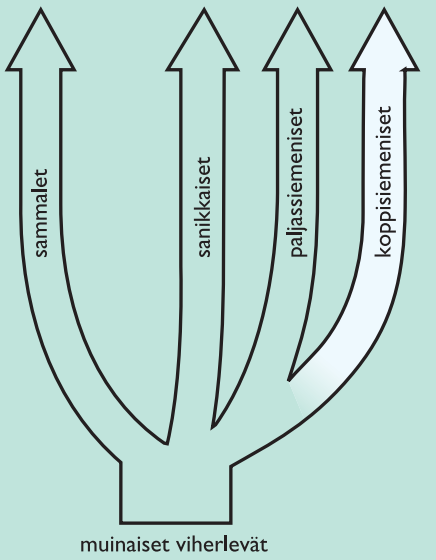
Noin 3 miljoonaa vuotta sitten ilmaston edelleen kuivuessa ja metsäsavannien muututtua ruohosavanneiksi alkoi kehittyä ihmisen suvun, *Homo*-suvun edustajia eli varhaisia ihmisiä. Niihin kuuluivat mm. *Homo habilis*, kätevä ihminen, ja *Homo erectus*, pystyihminen. Niiden ruumiinrakenne oli kehittynyt entistä paremmin savanneilla liikkumiseen sopivaksi ja ne osasivat valmistaa alkeellisia työkaluja sekä metsästää. Ruokavalion muuttuminen proteiinipitoisemmaksi edisti aivojen koon kasvua. Varhaisten ihmisten aivojen tilavuus oli noin 1000 cm^3.

Noin 2 miljoonan vuoden ajan Afrikassa eli sekä apinaihmislajeja että varhaisia ihmisiä, mutta noin miljoona vuotta sitten varhaiset ihmiset olivat syrjäyttäneet apinaihmiset kaikkialla Afrikassa paremman sopeutumisensa vuoksi. Varhaiset ihmiset levittäytyivät Afrikasta myös Eurooppaan, Lähi-itään ja Aasiaan. Eurooppaan levinneistä varhaisista ihmisistä kehittyivät neandertalinihmiset.

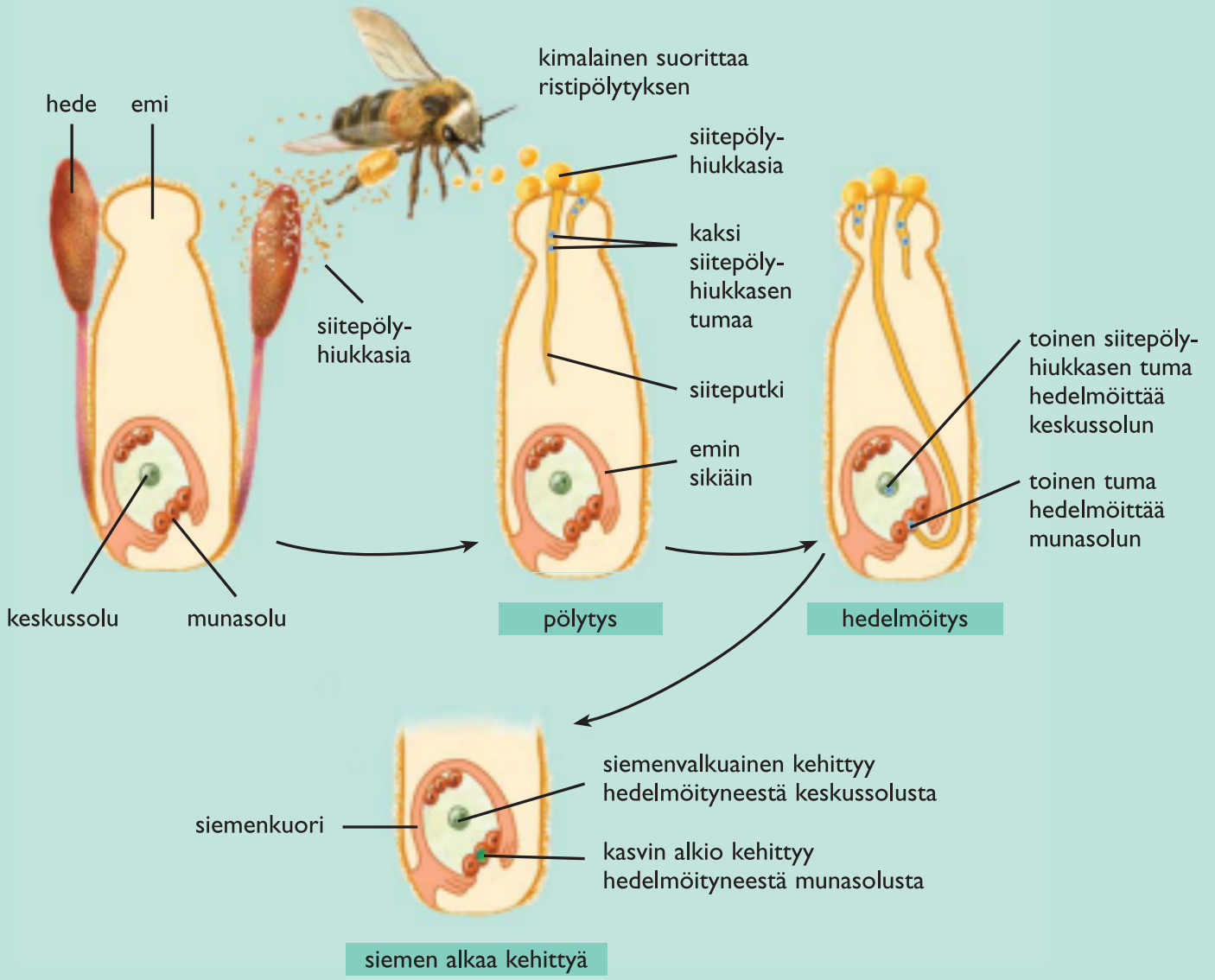
Noin 200 000 vuotta sitten oli jostakin Afrikkaan jääneestä varhaisihmispopulaatiosta kehittynyt nykyihminen, *Homo sapiens*. Vasta nykyihmisellä oli kunnollinen puhekyky, ja aivojen koko oli kasvanut noin 1450 cm^3:iin. Nykyihmiset alkoivat levittäytyä Afrikasta muualle noin 70 000 vuotta sitten, ja syrjäyttivät uusilla asuinalueillaan paikalliset neandertalinihmiset tai varhaiset ihmiset.

Nisäkkäät, linnut ja koppisiemeniset kasvit valloittivat matelijoilta ja paljassiemenisiltä kasveilta vapautuneet ekologiset lokerot ja ovat nykyisin sopeutuneet ja levittäytyneet joka puolelle maapalloa. Nisäkkäistä kehittyi 20 eri lahkoa, joista suurimman muodostaa jyrsijöiden lahko. Kädellisten lahko erkani muista nisäkäslahkoista jo yli 50 miljoonaa vuotta sitten. Ihmisellä ja simpanssilla on yhteinen kantamuoto, josta kehitys lähti kulkemaan eri suuntiin noin 7 miljoonaa vuotta sitten. Ihmisen kehityslinja johti nykyihmisen *(Homo sapiens)* syntyyn Afrikassa noin 200 000 vuotta sitten.

Koppisiemeniset kasvit edustavat kasvikunnan pisimmälle kehittynyttä ryhmää. Niitä on nykyään noin 300 000 lajia. Koppisiemenisten kasvien alkio kehittyy sikiäimen suojassa ikään kuin kohdussa. Alkiota ympäröivät siemenvalkuainen ja siemenkuoret, ja siemenen ympärillä on usein värikäs ja mehevä hedelmä. Koppisiemenisten kasvien leviäminen on tehokasta, koska monet eläimet syövät mielellään hedelmiä. Hedelmien sisältämät siemenet voivat kulkea sulamattomina eläimen ruuansulatuskanavan läpi ja päätyä näin itämiskykyisinä uusille alueille. Koppisiemenisten kasvien evoluutio on ollut tiiviissä yhteydessä hyönteisten evoluutioon, koska hyönteiset ovat koppisiemenisten kasvien tärkeimpiä pölyttäjiä. Tällaista rinnakkain kehittymistä kutsutaan koevoluutioksi.



Koppisiemenisen kasvin lisääntyminen



Eliömaailman kehitys on edennyt välillä tasaisesti ja välillä hyppäyksittäin

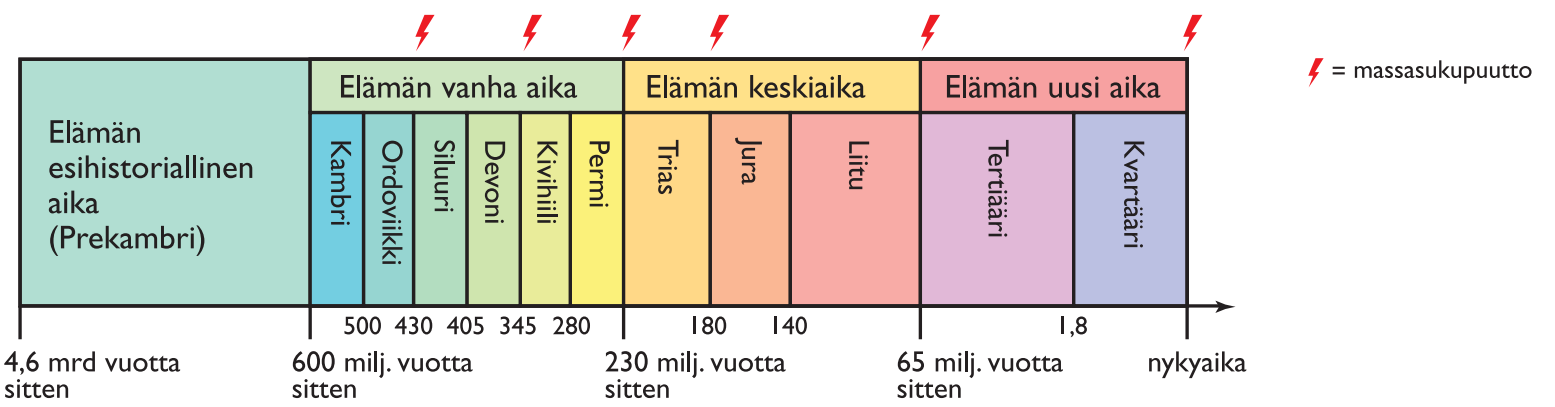
Maapallon geologinen historia on jaettu neljään geologiseen maailmankauteen. Useimmiten maailmankausien rajat ovat niissä kohdissa, joissa on tapahtunut massasukupuuttoja tai joissa eliömaailman kehitys on harpannut eteenpäin jonkin uuden merkittävän rakenteellisen tai fysiologisen muutoksen ansiosta. Massasukupuutot puolestaan liittyvät maapallon geologisiin mullistuksiin.

Kuusijalkaiset hyönteiset ovat kehittyneet monijalkaisista äyriäismäisistä eläimistä. Jalkojen väheneminen johtui mutaatiosta tietyssä yksilönkehitystä säätelevässä isäntägeenissä.

Mutaatiot ovat nopeuttaneet eliökunnan kehitystä

Kaikissa eliöissä on ns. isäntägeenejä, jotka säätelevät muiden geenien toimintaa yksilönkehityksen aikana. Nämä isäntägeenit vaikuttavat yksilön rakenteellisiin ominaisuuksiin eli yksilön ruumiinkaavaan. Esimerkiksi eräs ihmisen silmän rakenteeseen vaikuttava geeni toimii periaatteessa samoin myös hiirellä ja banaanikärpäsellä.

Kyseisissä isäntägeeneissä tapahtuneet pienet mutaatiot ovat voineet johtaa nopeasti hyvin suuriin rakenteellisiin muutoksiin. Esimerkiksi noin 400 miljoonaa vuotta sitten äyriäismäisessä eläimessä tapahtunut geenimutaatio johti jalkojen vähenemiseen ja hyönteisten syntymiseen. Kambrikauden räjähdysmäinen eliölajien lisääntyminen johtui ilmeisesti niin ikään siitä, että kyseiset isäntägeenit monistuivat, jolloin perinnöllistä muuntelua syntyi entistä enemmän ja valinnan käyttöön tuli enemmän materiaalia. Manner-liikuntojen seurauksena oli lisäksi syntynyt enemmän matalan meren alueita ja siten uudenlaisia elinympäristöjä, joten hajottavan ja suuntaavan valinnan merkitys eliöryhmien evoluutiossa kasvoi. Geenien rakennemuutokset selittävät osaltaan sen, miksi evoluutio etenee välillä hyppäyksittäin ja miksi fossiiliaineisto ei muodosta erilaisista välimuodoista koostuvaa yhtenäistä sarjaa.



Maapallon historia jaetaan neljään maailmankauteen, jotka ovat elämän esihistoriallinen aika (prekambrinen), elämän vanha aika (paleotsooinen), elämän keskiaika (mesotsooinen) ja elämän uusi aika (kenotsooinen). Elämän vanha aika jaetaan vielä kuuteen, elämän keskiaika kolmeen ja elämän uusi aika kahteen kauteen.

Massasukupuutot ovat raivanneet tilaa uusille eliöryhmille

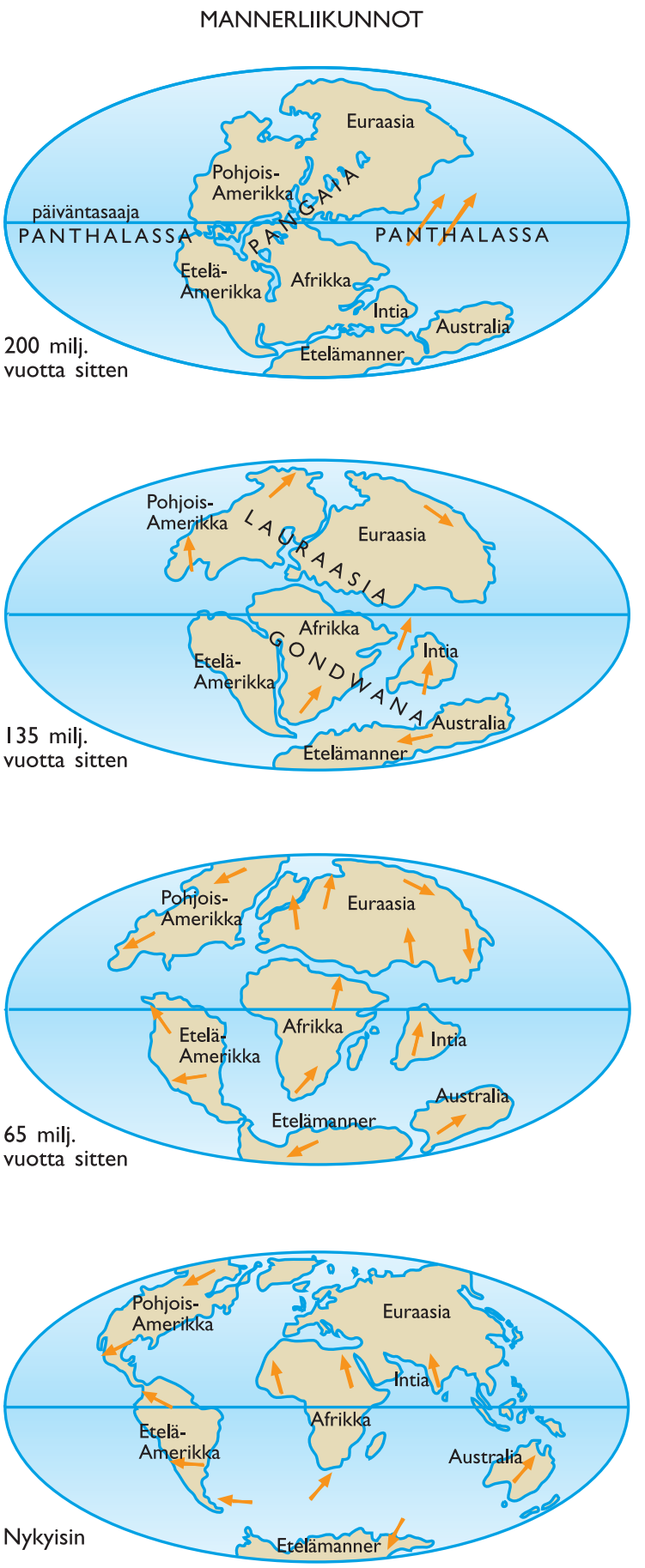
Maapallon koko historian ajan on tapahtunut ainakin kaksitoista massasukupuuttoa, joista viisi on ollut erityisen suurta. Jokaisen massasukupuuton jälkeen on kulunut kymmeniä miljoonia vuosia, ennen kuin on päästy jälleen aiemmalle monimuotoisuuden tasolle. Massasukupuuttoihin on esitetty neljä erilaista syytä. Todennäköisesti mikään näistä syistä ei ole vaikuttanut tilanteeseen yksin, sillä ne liittyvät usein toisiinsa.

Ensimmäisen oletuksen mukaan merenpinnan korkeuden muutokset vaikuttivat merkittävästi eliölajiston koostumukseen erityisesti silloin, kun suuri osa elämästä sijoittui merien mataliin osiin. Merenpinnan korkeuden vaihteluihin saattoi vielä liittyä veden suola- tai happipitoisuuden muutoksia. Merenpinta laski silloin, kun maapallolla oli laajoja jäätiköitä, koska ne sitoivat vettä valtameristä. Jäätiköiden sulaminen taas aiheutti merenpinnan nousun.

Toisena massasukupuuttojen syynä pidetään ilmastonmuutoksia, jotka johtuivat hitaasti tapahtuvista mannerliikunnoista. Välillä maapallon mantereet olivat yhtenä suurena jättiläismantereena, jolloin matalien merien osuus väheni, välillä ne taas sijaitsivat toisistaan erillään. Mantereiden liikkumisesta seurasi jääkausia, kuivuutta tai lisääntyneitä sateita, koska esimerkiksi merivirtojen ja tuulten suunnat muuttuivat. Ilmeisesti mannerliikunnoista johtuvat ilmastonmuutokset ovat vaikuttaneet kaikkiin massasukupuuttoihin.

Kolmantena syynä eliöiden yhtäkkiseen häviämiseen pidetään valtaisia tulivuorenpurkauksia. Niissä on vapautunut ilmaan pöly- ja kaasupilviä, jotka ovat puolestaan synnyttäneet happamia sateita ja muuttaneet lämpötiloja. Myös laajat laavavirrat ovat tuhonneet merkittävän suuria alueita.

Maapallo on koko historiansa ajan ollut alttiina meteoriittipommituksille. Neljäs syy massasukupuutoille on se, että kun maapalloon törmää suuri meteoriitti, syntyy valtaisia hyökyaaltoja, maanjäristyksiä ja tulipaloja. Syntyy happosateita ja ilman lämpötila muuttuu rajusti. Suurimmassa vaarassa ovat tällöin isokokoiset kasvinsyöjäeläimet. Kasvien yhteyttäminen kärsii, kun valon määrä vähenee ja lämpötila



laskee paljon ja nopeasti. Hirmuliskojen lopullinen häviäminen maapallolta on ilmeisesti johtunut läpimitaltaan kymmenen kilometrin kokoisen meteoriitin törmäämisestä Väli-Amerikkaan. Massasukupuutot ovat raivanneet tietä uusille eliöryhmille, koska ekologiset lokerot ovat tyhjentyneet yhtäkkisesti. Uuden eliöryhmän lajeja on aluksi vain vähän, mutta pian alkaa nopea sopeutumislevittäytyminen ja lajimäärä kasvaa räjähdysmäisen nopeasti.

Maapallon eliömaailman monimuotoisuus on tällä hetkellä todennäköisesti suurimmillaan, koska mantereet ovat erillään toisistaan ja tarjoavat siten asuttavaksi paljon erilaisia elinympäristöjä. Elämän monimuotoisuus maapallolla on kuitenkin uhattuna, koska tällä hetkellä on käynnissä kuudes, ihmisen aiheuttama massasukupuutto. Se poikkeaa aiemmista massasukupuutoista siten, että se on vaikutuksiltaan laajempi ja se etenee nopeammin kuin mikään aiemmista sukupuuttoaalloista. On arvioitu, että ihmisen toimien vuoksi maapallolta häviää joka päivä useita eliölajeja.

TEHTÄVÄT

1. Eliöryhmien kehitysjärjestys

Järjestä seuraavat eliöryhmät sen mukaan, missä järjestyksessä ne ilmestyivät maapallolle: matelijat, alkueliöt, sienieläimet, arkit, koppisiemeniset kasvit, sammakkoeläimet, nisäkkäät, kalat, niveljalkaiset, paljassiemeniset kasvit, linnut.

2. Avainsopeutumat

Mikä merkitys seuraavilla avainsopeutumilla oli eliöryhmien evoluutiossa?

a. siemen
b. muna
c. istukallinen kohtu
d. sisäinen hedelmöitys
e. juuri
f. johtosolukko

3. Elämän käännekohdat

Miksi seuraavat muutokset aiheuttivat uusien eliöryhmien valtaannousun? Mitkä eliöryhmät olivat kyseessä ja mitä uusia sopeutumiskeinoja niillä oli?

a. Otsonikerroksen vahvistuminen nykyisenlaiseksi 400 miljoonaa vuotta sitten.
b. Ilmaston kuivuminen 250 miljoonaa vuotta sitten.
c. Ilmaston viileneminen 65 miljoonaa vuotta sitten.

4. Koppisiemenisen kasvin lisääntyminen

Mitä seuraavat käsitteet tarkoittavat ja miten ne liittyvät toisiinsa: siemenvalkuainen, emi, siitepölyhiukkanen, kasvin alkio, hede, siemen, ristipölytys?

5. Koppisiemeniset kasvit

yo k-00

Koppisiemeniset kasvit ovat kasvikunnan nuorin ryhmä. Selvitä,

a. mitkä piirteet osoittavat niiden olevan kehittynein kasviryhmä,
b. mitä maakasveja oli ennen koppisiemenisiä kasveja
c. mitkä kasvien rakenteet mahdollistivat kasvien siirtymisen vedestä maalle.

6. Vedestä maalle

yo s-96

Eläinten evoluutiossa siirtyminen vedestä maalle oli huomattava taitekohta. Millaisiin rakenteellisiin ja fysiologisiin sopeutumiin tämä johti?

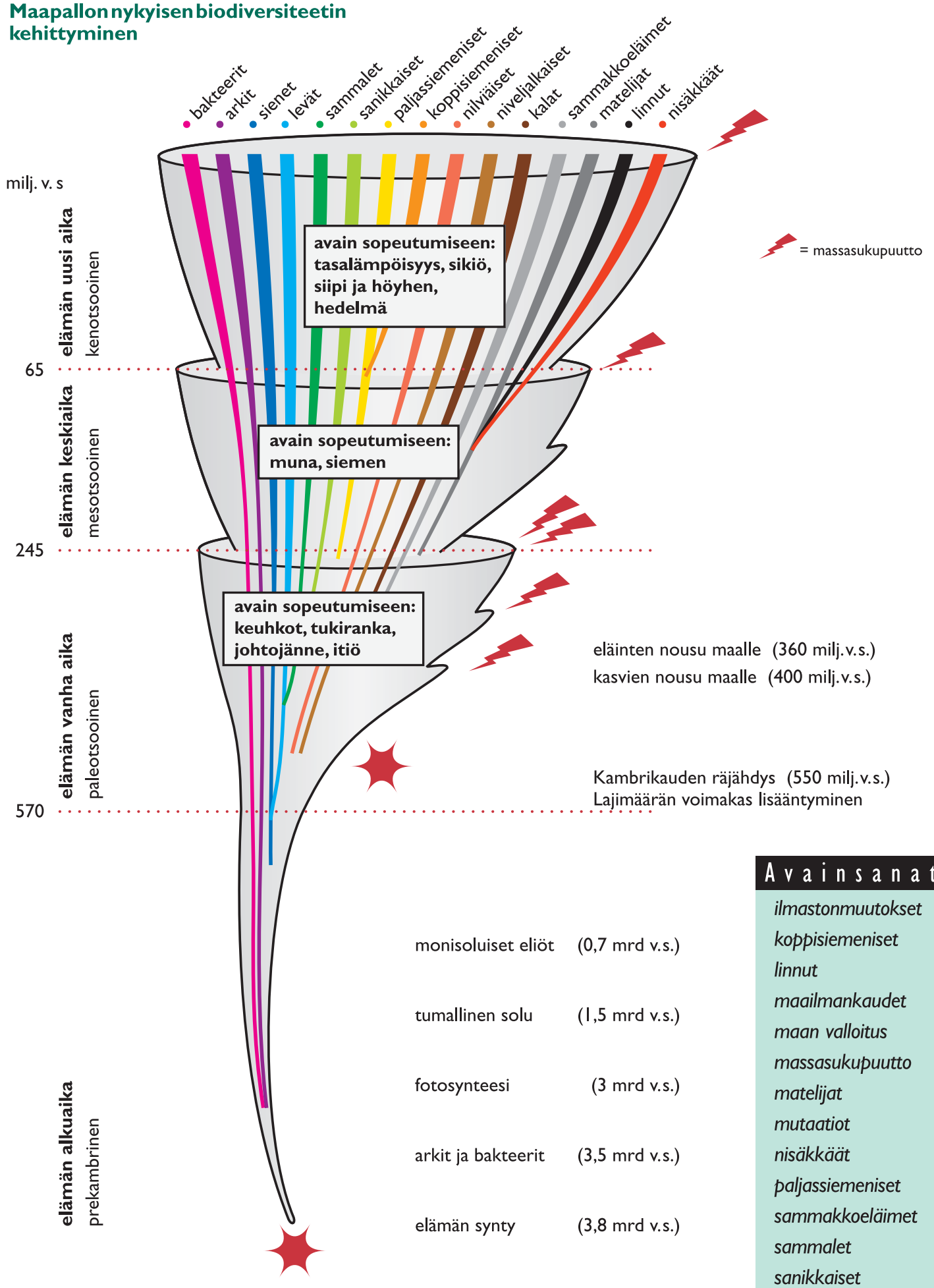
7. Kukkakasvit ja hyönteiset

yo s-07

a. Selosta, mistä tärkeästä tapahtumasta kuvassa on kysymys. (2 p.)
b. Miten kukkakasvin siemen syntyy? (2 p.)
c. Selosta lyhyesti kukkakasvien ja hyönteisten vuorovaikutussuhteen evoluutiota. (2 p.)

Yhteenveto

Maapallon nykyisen biodiversiteetin kehittyminen



Avainsanat

ilmastonmuutokset
koppisiemeniset
linnut
maailmankaudet
maan valloitus
massasukupuutto
matelijat
mutaatiot
nisäkkäät
paljassiemeniset
sammakkoeläimet
sammalet
sanikkaiset

10.

Evoluutiota tutkitaan monella tavalla

Mongoliassa sijaitsevasta Gobin autiomaasta löydettiin vuonna 1993 fossiloitunut dinosauruksen alkio. Alkiota ympäröivä munankuori oli osittain kulunut pois, ja sisältä erottui dinosauruksen luuranko. Dinosaurus kuului samaan sukuun kuin *Tyrannosaurus rex*. Dinosauruksen alkiot ja munat ovat erittäin harvinaisia fossiileja.

Fossiilit evoluutiotutkimuksen apuna

Paleontologia on tieteenhaara, joka tutkii muinaista eliömaailmaa fossiilien avulla. Fossiilit ovat vähintään 10 000 vuotta vanhojen, muinoin eläneiden eliöiden jäänteitä. Paleontologit ovat huomanneet, että mitä vanhempia fossiilit ovat, sitä yksinkertaisempia ne yleensä ovat. Fossiilit ovat voineet syntyä eri tavoin, kivettyminä, valelmina ja painaumina, ja ovatpa jotkin eliöt säilyneet kokonaisinakin, kuten meripihkan sisälle jääneet hyönteiset tai Siperian ikiroutaan hautautuneet mammutit. Fossiileihin perustuvalla tutkimuksella on kuitenkin joitakin heikkouksia, sillä kaikista maapallolla eläneistä eliöistä ei ole jäänyt jäljelle fossiileja. Esimerkiksi sienistä tai ruumiiltaan pehmeistä merieläimistä koostuva fossiiliaineisto on suppea. Lisäksi luonnonvoimat, esimerkiksi jääkaudet, ovat tuhonneet monia fossiiliesiintymiä.

Grand Canyonin pohjalla olevat kerrostumat ovat vanhimmillaan 2 miljardin vuoden ikäisiä ja syvyyttä kanjonilla on 1 500 m.

Kokonainen hyönteinen 40 milj. vuoden takaa meripihkan sisällä.

Kivettynyt jurakauden ammoniitti. Sen sisältämät orgaaniset aineet ovat korvautuneet mineraaleilla.

Valelma jurakauden sudenkorennosta. Sen maaduttua maahan painautunut tila on täyttynyt jollakin mineraalilla.

Liitukaudella eläneen dinosauruksen jalasta on jäänyt painanne pehmeään maahan.

Fossiileista ei ole suuresti hyötyä elämän kehityksen tutkimisessa, ellei niiden ikää pystytä selvittämään. Fossiilin suhteellinen ikä saadaan selville johtofossiilien avulla. Ne ovat eliöitä, jotka ovat eläneet runsaslukuisina tiettynä aikana eri puolilla maapalloa. Esimerkiksi ammoniitit, jotka kuuluivat nilviäisiin, elivät kaikissa maapallon merissä noin 250–65 miljoonaa vuotta sitten. Monet ammoniittilajit ovat tärkeitä johtofossiileja. Koska kallioperän kerroksista vanhimmat ovat yleensä alimpana ja nuorimmat ylimpänä, voidaan uudet fossiililöydot asettaa johtofossiilien avulla aikajärjestykseen. Fossiilien tarkassa iänmäärityksessä käytetään apuna tiettyjä kaikissa eliöissä esiintyviä radioaktiivisia aineita.

Eläviksi fossiileiksi sanotaan sellaisia eliöitä, jotka ovat selvinneet maapallon mullistuksista nykypäiviin asti. Voisi sanoa, että elävät fossiilit ovat olleet hyviä jo syntyessään. Eläviä fossiileja ovat esimerkiksi siili, varsieväkala ja neidonhiuspuu. Siili on säilynyt lähes samanlaisena noin 15 miljoonaa vuotta. Se on pystynyt sopeutumaan tehokkaasti myös sille täysin uuteen elinympäristöön, kaupunkiin. Kaikkien varsieväkalojen luultiin kuolleen sukupuuttoon noin 150 miljoonaa vuotta sitten. Niitä on kuitenkin silloin tällöin joutunut kalastajien pyydyksiin. Neidonhiuspuita kasvaa yhä edelleen luonnonvaraisena Kiinassa. Neidonhiuspuu kuuluu itse asiassa paljassiemenisiin kasveihin, ja näin ollen esimerkiksi kaikki havupuut kuuluvat samaan eliöryhmään sen kanssa.

Fossiilisarjat kertovat yhden lajin tai eliöryhmän kehityksestä ajan kuluessa. Hevosesta on löydetty eri-ikäisiä fossiileja. Niiden perusteella on voitu tehdä kuvasarja, joka osoittaa hevosen kehittyneen noin 55 miljoonassa vuodessa ketun kokoisesta, viisivarpaisesta nisäkkäästä nykyiseksi kookkaaksi kaviolliseksi

Siili (Erinaceus europaeus) ja neidonhiuspuu (Ginkgo biloba) ovat esimerkkejä elävistä fossiileista, kuten myös varsieväkala (Latimeria chalumnae). Varsieväkaloja elää läntisellä Tyynellämerellä ja Intian valtameressä 150–700 metrin syvyydessä.

eläimeksi. Myös ihmisestä on löydetty eri-ikäisiä fossiileja, jotka kertovat muun muassa ihmisen liikkumistavan muutoksesta, aivojen kasvusta ja ravinnon muuttumisesta.

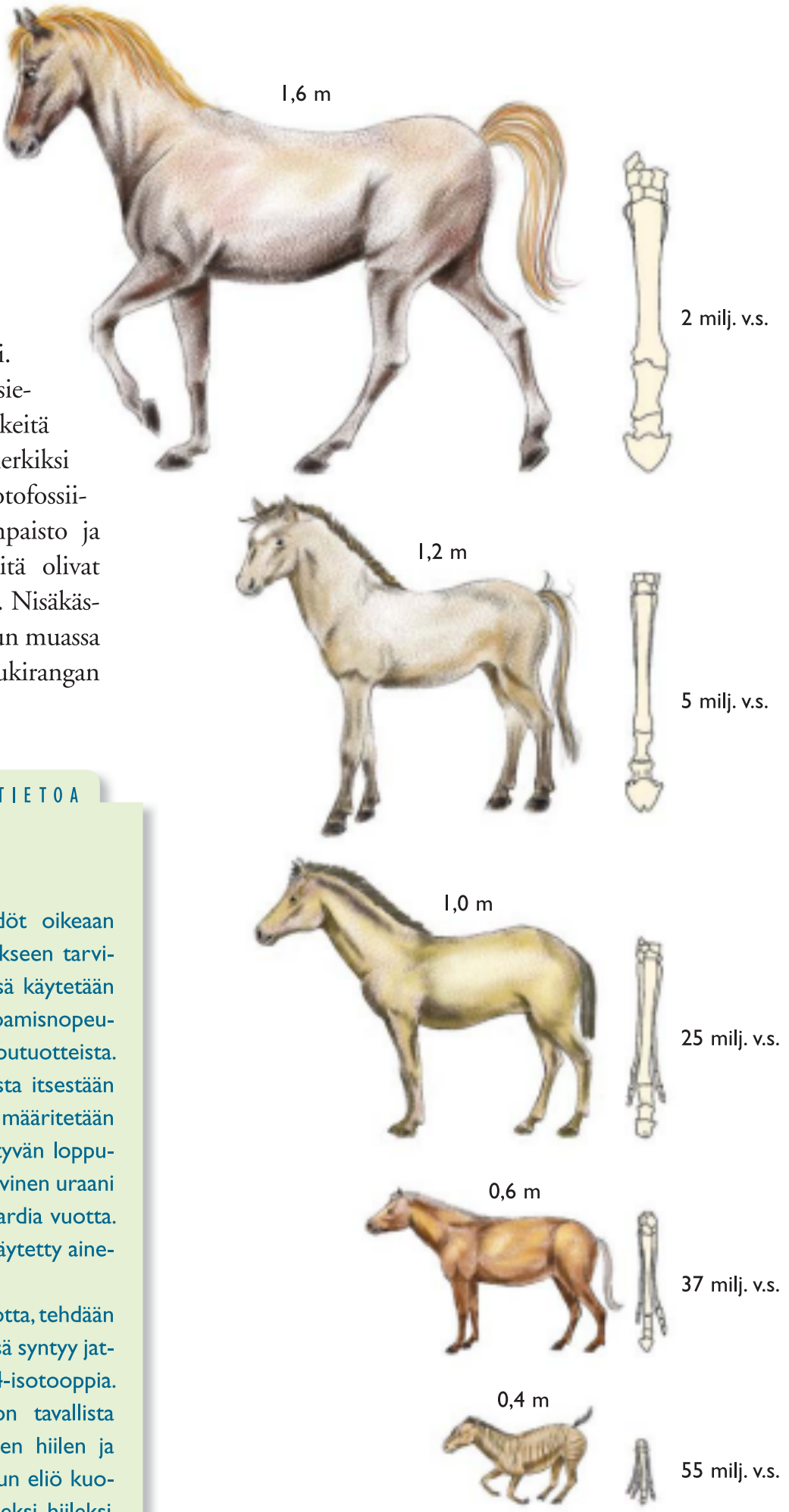
Eliöryhmän kehittyessä on mahdollista, että siinä näkyy samanaikaisesti sekä vanhoja että uusia rakennepiirteitä. Tällaisia fossiileita sanotaan välimuotofossiileiksi. Tunnetuimpia välimuotofossiileja ovat varsieväkala, nisäkäslisko ja liskolintu. Ne ovat tärkeitä selkärankaisten kehityksen todisteita. Esimerkiksi liskolintu on matelijan ja linnun välimuotofossiili. Sen matelijamaisia piirteitä olivat hampaisto ja häntämäinen pyrstö ja lintumaisia piirteitä olivat puolestaan höyhenpeite ja varpaiden asento. Nisäkäsliskon matelijamaisiin piirteisiin kuului muun muassa suomupeitteinen iho. Nisäkäsmäistä oli tukirangan rakenne.

TAUSTATIETOA

Fossiilien iänmääritys

Johtofossiilien avulla saadaan fossiililöydöt oikeaan aikajärjestykseen, mutta tarkkaan iänmääritykseen tarvitaan muita keinoja. Fossiilien iänmäärityksessä käytetään apuna tietoa radioaktiivisten aineiden hajoamisnopeudesta (puoliintumisajasta) ja syntyvistä lopputuotteista. Iänmääritys tapahtuu siten, että joko fossiilista itsestään tai sen ympärillä olevasta maakerrostumasta määritetään alkuperäisen aineen ja sen hajoamisessa syntyvän lopputuotteen välinen suhde. Esimerkiksi radioaktiivinen uraani hajoaa lyijyksi, ja puoliintumisaika on 4,5 miljardia vuotta. Toinen vanhojen fossiilien iänmäärityksessä käytetty ainepari on kalium-argon.

Mikäli fossiili on nuorempi kuin 50 000 vuotta, tehdään iänmääritys radiohiilimenetelmällä. Ilmakehässä syntyy jatkuvasti kosmisen taustasäteilyn vuoksi hiili14-isotooppia. Kasvit käyttävät yhteyttäessään yhtä paljon tavallista ja hiili14-isotooppia. Ravintoketjussa tavallisen hiilen ja hiili14:n välinen suhde pysyy yhtä suurena. Kun eliö kuolee, sen sisältämä hiili14 alkaa hajota tavalliseksi hiileksi, ja puoliintumisaika on 5 568 vuotta. Jos fossiilinäytteessä on hiili14:n määrä esimerkiksi puolet alkuperäisestä, on fossiilin ikä siis 5 568 vuotta.



Hevosen fossiilisarja antaa hyvän käsityksen hevosen koon ja rakenteen muuttumisesta vuosimiljoonien aikana. Samalla myös hevosen elinympäristö on muuttunut. Varhaisimmat viisivarpaiset hevoset elivät metsissä, mutta nykyiset kaviolliset hevoset ovat arojen eläimiä.

Molekyylibiologian avulla saadaan tarkempaa tietoa evoluutiosta

Tarkimmat todisteet eliökunnan kehityksestä löytyvät solujen sisältä. Erityisesti DNA:n rakenteen ja proteiinien aminohappojärjestyksen vertailun avulla saadaan rakennettua tarkkoja eliöiden sukupuita. On huomattu, että mutaatioita saattaa tapahtua joissakin eliöryhmissä tai evolutiivisissa linjoissa tietyllä vakionopeudella. Näiden tietojen perusteella voidaan rakentaa molekyylikello, joka kertoo, missä vaiheessa mikin ryhmä tai laji on lähtenyt kehittymään omaan suuntaansa. Mitä enemmän kaksi lajia eroavat toisistaan DNA:n ja proteiiniensa suhteen, sitä kaukaisempaa sukua ne ovat toisilleen. DNA-näytteitä saadaan myös hyvin säilyneistä fossiileista, kuten eläinten luista.

Tärkeitä todisteita eliöiden yhteisestä alkuperästä ovat niiden pitkälti yhteinen geenistö ja DNA:n koodikieli. Ihmisen ja hiiren DNA:n rakenne on selvitetty, ja ne ovat noin 90-prosenttisesti samanlaiset. Ihmisellä ja banaanikärpäselläkin on useita tuhansia samanlaisia geenejä. Myös solun biokemialliset reaktiot, kuten energian vapauttamisreaktiot tai proteiinien valmistus, ovat pääperiaatteissaan samanlaisia eri eliöillä.

Rotan alkio

Ihmisen alkio

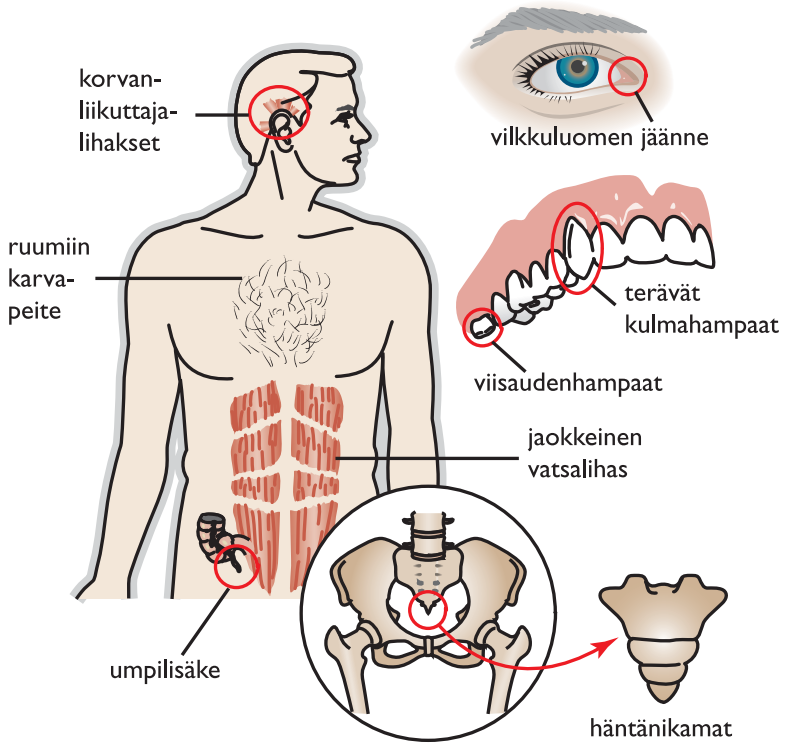
Alkionkehityksen alkuvaiheessa eri selkärankaiset muistuttavat hyvin suuresti toisiaan. Sekä rotan että ihmisen alkiossa näkyy hännän aihe. Kun alkio kehittyy pidemmälle, niiden lajityypilliset piirteet tulevat näkyviin.

Ihmisen ja simpanssin DNA:ssa on vain muutaman prosentin ero. Eniten eroja on aivojen geenien toiminnassa, mutta sen sijaan esimerkiksi maksa- ja verisoluissa ihmisen ja simpanssin geenitoiminnan erot ovat hyvin pieniä. Ihmisen evoluution aikana aivoissa onkin tapahtunut eniten muutoksia.

Evoluutiosta kertovat myös rakenteelliset ominaisuudet ja eläinten käyttäytyminen

Anatomisten rakenteiden vertailu selventää eliökunnan sukupuuta, samoin alkionkehityksen vertailu. Yksi erikoinen todiste evoluutiosta ovat surkastumat eli tehtävänsä menettäneet elimet tai niiden osat. Sekä käärmeillä että valailla on merkkejä jalkojen surkastumista. Myös ihmisellä on useita surkastumia, esimerkiksi häntänikamat, viisaudenhampaat ja korvanliikuttajalihakset.

Koska suurin osa eläinten käyttäytymisestä on synnynnäistä ja geenien säätelemää, kertoo käyttäytymisen samankaltaisuus eliöryhmien yhteisestä evoluutiosta. Esimerkiksi eläinten soidinmenot ja kommunikointi ovat lajityypillisiä, ja niitä tutkimalla saadaan todisteita eläinten evoluutiosta ja lajien sukulaisuussuhteista.



Evoluutiota tapahtuu jatkuvasti

Eliöiden evoluutiosta voi tehdä jatkuvasti havaintoja. Perhosten teollisuusmelanismi on esimerkki hyönteisten nopeasta evoluutiosta, samoin tuhohyönteisten kehittyminen tuholaismyrkkyjä kestäviksi. Bakteerien antibioottikestävyys ja rokotteiden vanheneminen selittyvät mikrobien evoluutiolla. Kyky hajottaa maitotuotteiden maitosokeria (laktoosia) on yleistynyt ihmisellä vasta noin 15 000 vuotta sitten. Myös ihminen on ollut evoluution aiheuttajana jalostaessaan kasveja ja eläimiä, kuten kissa- ja koirarotuja.

Chihuahua on maailman pienin koirarotu. Se painaa vain 0,5–3,0 kg ja on noin 20 cm korkea.
Tanskandoggi puolestaan on koiraroduista suurin. Sen korkeus on noin 80 cm ja uros voi painaa jopa 90 kg.

TEHTÄVÄT

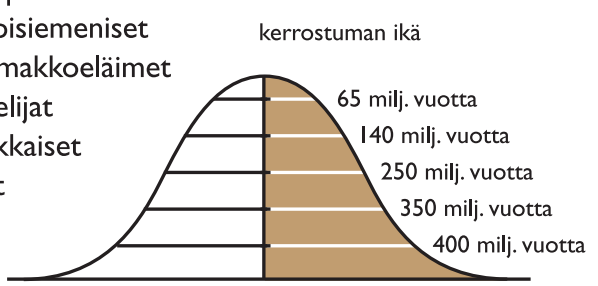
1. Energian tuotanto

Miten on selitettävissä, että niinkin erilaisten eliöiden kuin sienen ja ihmisen soluissa tuotetaan energiaa samanlaisten reaktioiden avulla?

2. Fossiililöydöt ja maakerrostumat

Sijoita seuraavat fossiililöydöt oikeisiin maakerrostumiin sen mukaan, milloin kyseiset eliöryhmät yleistyivät maapallolla:

a. koppisiemeniset
b. sammakkoeläimet
c. matelijat
d. sanikkaiset
e. kalat



3. Surkastumat

Yksi ihmisen surkastumista on häntäluu.

a. Mihin muut kädelliset tarvitsevat häntää?
b. Miksi ihmisen evoluution aikana häntä on karsiutunut pois?

4. Fossiilit kertovat

Mistä kertovat seuraavat ihmisen fossiilit:

a. hampaat
b. kallo
c. lantion luut?

5. Fossiilit

yo s-02

Fossiilit evoluutiotutkimuksessa.

6. Evoluution todisteet

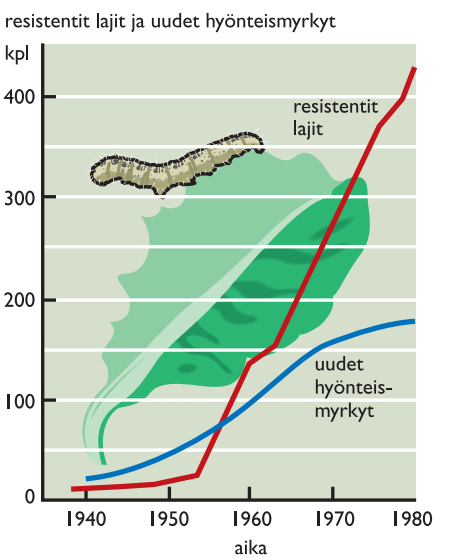
yo k-99

Mitkä seikat puhuvat sen puolesta, että eliöt ovat syntyneet edeltäjistään evoluution kautta?

7. Tuhohyönteisten evoluutio

Toisen maailmansodan päätyttyä ryhdyttiin käyttämään entistä enemmän uusia hyönteismyrkkyjä, kuten DDT:tä, viljasatoja syöviä tuhohyönteisiä vastaan. Diagrammissa on esitetty uusien hyönteismyrkkyjen ja niille vastustuskykyisten eli resistenttien hyönteislajien kehitys 1940-luvulta 1980-luvulle.

a. Analysoi diagrammia ja pohdi syitä tapahtuneeseen kehitykseen.
b. Mikä valintatyyppi on tässä esimerkissä vaikuttanut tuhohyönteisten evoluutioon?
c. Miksi tuhohyönteisten evoluutio voi tapahtua näin nopeasti?



8. Fossiileja ja evoluution kulkuun vaikuttaneita tekijöitä

yo s-07

a. Selitä lyhyesti, kuinka fossiileja syntyy. (1,5 p.) Kuvaile evoluution kulkuun vaikuttaneita tekijöitä tilanteissa, joissa:
b. Sukupuu on haarautunut kahtia, esimerkiksi istukallisten nisäkkäiden ja pussieläinten kehityslinjoiksi. (1,5 p.)
c. Lajinkehitys on ”pysähtynyt” kuten on käynyt varsieväkalalle. (1,5 p.)
d. Tuloksena on viuhkamainen sopeutumislevittäytyminen, kuten tapahtui hevoseläimille. (1,5 p.)

9. Selkärankaisten evoluutio

yo k-04

Selkärankaisten evoluutio eteni paleotsooisella (elämän vanha aika) ja mesotsooisella (elämän keskiaika) maailmankaudella kaloista sammakkoeläinten kautta matelijoihin. Minkälaiset muutokset ympäristössä sekä eläinten rakenteissa ja toiminnoissa mahdollistivat kyseisen kehityksen? Mitä todisteita näin tapahtuneesta evoluutiosta on?

10. Uusia Tyrannosaurus-löytöjä

Lue oheinen *Tiede*-lehden artikkeli ja vastaa seuraaviin kysymyksiin:

a. Mitä tarkoittavat tekstissä alleviivatut käsitteet?
b. Miten Kiinasta löydettyjen dinosaurusluurankojen ikä on saatu selville?
c. Miksi tutkijat pystyivät juuri raajojen, kynsien, hampaiden ja leukojen perusteella päättelemään, että kyseiset yksilöt olivat petoja?
d. Miten pääkoriste oli lajin evoluution aikana kehittynyt, jos sen olemassaolo liittyi uroksen kelpoisuuteen?

Tyrannosaurus rex sai isoisän

Paleontologit voivat vihdoin lakata vinoilemasta, ettei tyrannosauruksia tavattu vielä jurakaudella, kuten Steven Spielbergin elokuvassa tapahtuu.

Tyrannosaurusten on uskottu kehittyneen vasta myöhäisellä liitukaudella. Nyt tutkijat ovat löytäneet Kiinasta kaksi luurankoa, jotka kuuluvat tähän asti varhaisimmalle tunnetulle tyrannosaurukselle, *Guanlong wucaiille*. Se eli noin 160 miljoonaa vuotta sitten eli se on noin kaksi kertaa vanhempi kuin *Tyrannosaurus rex*.

Löydöt osoittavat, että kehityslinjan alussa tyrannosaurukset olivat rexiin verrattuna pieniä. Luurangoista toinen kuuluu nuorelle yksilölle. Sukukypsä yksilö on vain kolmen metrin pituinen. Raajojen, kynsien, hampaiden ja leukojen perusteella se oli kuitenkin aggressiivinen peto ja nopea saalistaja.

Lajin huomiota herättävin piirre oli kapea ja paperinohut harjanne kuonon päällä. Tällaisia koristeita ei ole tavattu aikaisemmin tyrannosauruksilta. Tutkijat pitävät sitä mielenkiintoisena havaintona, sillä joillakin tänä päivänä elävillä linnuilla on samankaltaisia pääkoristeita, ja linnut ja tyrannosaurukset ovat melko läheistä sukua toisilleen. Pääkoriste osoitti luultavasti kosiomenoissa koiraan kelpoisuutta tai auttoi lajin tunnistamisessa.

(Tiede-lehden www-uutissivut 14.2.2006)

Yhteenveto

Fossiilit ovat muinoin eläneiden eliöiden jäänteitä.

Fossiilit kertovat yksittäisen lajin tai suuremman eliöryhmän kehityksestä.

Fossiilien suhteellisessa iänmäärityksessä käytetään johtofossiileita.

Fossiilien tarkassa iänmäärityksessä käytetään radioaktiivisia aineita.

Fossiilisarja kertoo yhden lajin tai eliöryhmän asteittaisesta kehityksestä ajan kuluessa.

Välimuotofossiilissa on kahden eri eliöryhmän rakennepiirteitä.

Evoluution todisteita ovat myös anatomiset rakenteet, alkionkehitys ja surkastumat.

Vertailemalla eri eliölajien DNA:n rakennetta ja proteiinien aminohappojärjestystä toisiinsa voidaan rakentaa tarkkoja sukupuita.

Molekyylikellon avulla saadaan ajoitettua sukupuussa näkyviä haarautumia.

Tärkein todiste kaikkien eliöiden yhteisestä alkuperästä on sama DNA:n koodikieli ja solujen samanlaiset biokemialliset reaktiot.

Avainsanat

alkionkehitys
fossiili
fossiilien iänmääritys
käyttäytyminen
molekyylikello
surkastumat

III

Miten luonto toimii?

Elottoman luonnon ominaisuudet rajaavat eliöiden elinmahdollisuuksia.

Populaatioissa ilmenevä muuntelu mahdollistaa lajien sopeutumisen muuttuviin oloihin.

Liian nopea ympäristön muutos voi koitua joidenkin lajien kohtaloksi.

Jakson sisältämät luvut

11. Ympäristö vaikuttaa eliöiden elinmahdollisuuksiin

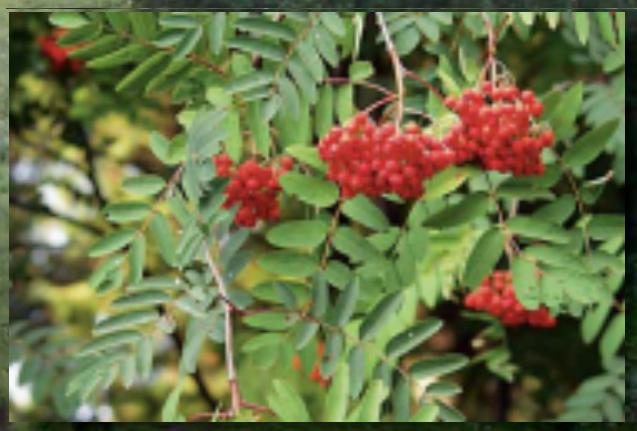
12. Saman lajin yksilöt muodostavat populaatioita

13. Alueen lajien populaatiot muodostavat eliöyhteisön

14. Ekosysteemi on toimiva kokonaisuus

15. Ihminen aiheuttaa häiriöitä luonnon toimintaan

Elinympäristössä tapahtuu jatkuvasti muutoksia, joihin eliöt joutuvat sopeutumaan.



Parhaiten sopeutuneet yksilöt lisääntyvät tehokkaimmin.

- **Peto tarvitsee saaliinsa – tarvitseeko saalis petoa?**
- **Miksi yksi kukkula elättää vain yhden tiikerin?**
- **Miksi ekolokeroon mahtuu vain yksi laji?**
- **Mikä on Ekologian Teatterin näytelmä ja ketkä ovat sen pääosissa?**
- **Ketkä ovat Teatterin häirikköjä?**

11.

Ympäristö vaikuttaa eliöiden elinmahdollisuuksiin

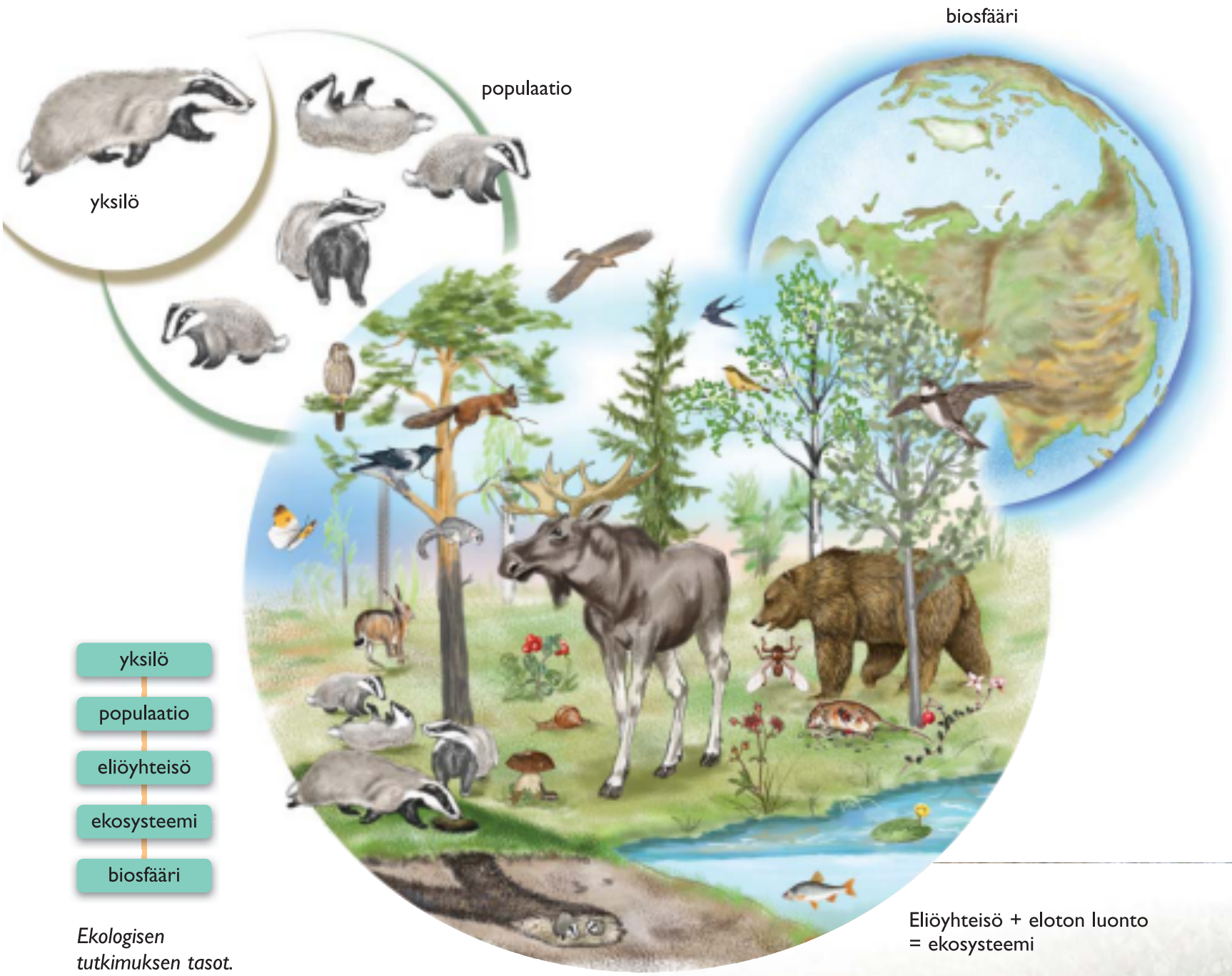
Jääkauden jälkeen jäi Saimaan vesistöön saarroksiin norppia, jotka onnistuivat sopeutumaan järvielämään muutaman tuhannen vuoden kuluessa. Hylkeitä elää vielä joissakin osissa Saimaata, mutta kanta on huolestuttavan pieni. Jotta voisimme taata tämän uhanalaisen nisäkkään säilymisen, meidän on tunnettava sen elinympäristövaatimukset ja tiedettävä, mitä muutoksia sen elinympäristössä tapahtuu.

Ekologia on tiede, joka tutkii eliöiden suhdetta ympäristöönsä

Ekologisen tutkimuksen aiheena voi olla esimerkiksi saimaannorpan levinneisyyden, elintapojen tai yleisyyden ja siinä ilmenevien vaihteluiden selvittely. Tutkijan asettamia kysymyksiä voivat olla: Kuinka paljon ja minkä ikäisiä norppia järvialueella elää? Millä perusteilla ne valitsevat elinympäristönsä? Mikä on norppien ravintoa? Miten ympäristön olosuhteet ja niiden muutokset vaikuttavat yksilöiden kasvuun, elintoimintoihin tai lisääntymiskykyyn? Miten norppakanta kehittyy?

Eri lajien yksilömäärissä tapahtuu jatkuvasti jonkin verran muutoksia: yksi laji runsastuu ja toinen taantuu. Ekologian keskeisiä tavoitteita on selvittää, mistä muutokset johtuvat ja mitä seurauksia niillä on. Ekologia tuottaa tietoa myös aineiden kiertokulusta luonnossa. Sen perusteella voimme ymmärtää, miksi Etelämanteren pingviineistä voi löytyä vaarallisten hyönteismyrkkyjen jäämiä, miksi fossiilisten polttoaineiden palamistuotteet ovat haitallisia tai miksi jokin kala voi sisältää niin paljon elohopeaa tai dioksiinia, ettei se kelpaa ruokapöytään.

Ekologinen tutkimus voi kohdistua tietyn alueen



Ekologisen tutkimuksen tasot.

yksittäiseen lajiin ja sen elämisen ehtoihin, eli lajin ekologiaan tai saman alueen kaikkiin lajeihin ja erilaisten ympäristötekijöiden niihin kohdistamaan vaikutukseen eli yhteisö- tai ekosysteemiekologiaan. Laajimpana ekologisena tutkimuskohteena voi olla koko maapalloa koskeva eliöiden, ja samalla ihmisen, ympäristön ja elinehtojen muuttuminen.

Saadun tiedon pohjalta pystytään tekemään ratkaisuja, joiden avulla voidaan ylläpitää niin ihmisen kuin kaikkien muidenkin eliöiden elinmahdollisuuksia. Maailmanlaajuisesti hyväksyttyyn kestävän kehityksen periaatteeseen kuuluu niin sanottu ekologinen ulottuvuus, mikä tarkoittaa sitä, että ihmisen toiminnan on oltava sopusoinnussa luonnon toiminnan kanssa. Ekologinen tutkimus ja tieto ovat avainasemassa kestävän kehityksen tavoitteisiin pääsemisessä.

Eliöyhteisö + eloton luonto
= ekosysteemi

Suomen lintulajisto ja lajien elintavat tunnetaan erinomaisen hyvin. Suuri osa tästä ekologisesta tiedosta on harrastajien keräämää.

Eliöiden ympäristö koostuu abioottisista ja bioottisista ympäristötekijöistä

Kaikki samalla alueella elävät eliöt muodostavat eliöyhteisön ja samalla eliöiden bioottisen eli elollisen ympäristön. Maahan, veteen ja ilmaan liittyvät ympäristön ominaisuudet puolestaan ovat fysikaaliskemiallisia tekijöitä, jotka yhdessä muodostavat abioottisen eli elottoman ympäristön.

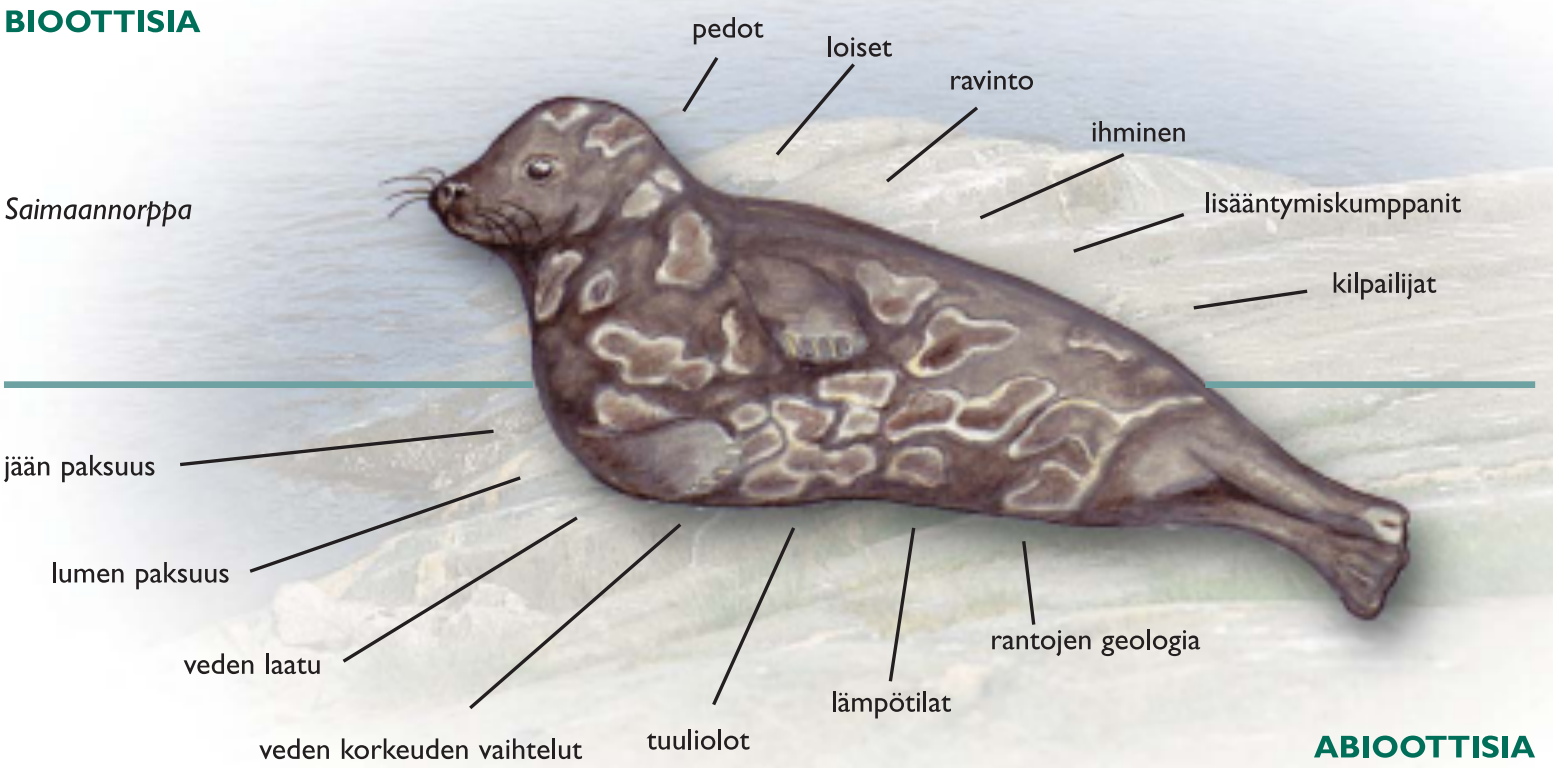
Kaikille eliöille tärkeitä ilmastotekijöitä ovat lämpötila ja sademäärä sekä niiden vaihtelut vuoden aikana. Erityisesti kasveille ovat tärkeitä kasvupaikan olosuhteet, kuten maaperän kosteus, happamuus sekä ravinteiden määrä.

Valon ja lämmön kokonaismäärä on suurin maapallon trooppisilla alueilla, kun taas lähellä napoja se on selvästi pienempi. Koska Maa kiertää Aurinkoa ja pyörii akselinsa ympäri, valon ja lämmön määrä vaihtelee selvästi kesän ja talven sekä yön ja päivän rytmissä, mihin eliöt puolestaan ovat sopeutuneet.

Suomen luonnossa elävien kasvien, eläinten ja muiden eliöiden on selviydyttävä hengissä talvesta. Niiden ongelmina ovat tällöin kylmyys, pimeys sekä veden ja ravinnon puute. Lyhyen kesän aikana taas on ehdittävä lisääntyä ja poikasten on ehdittävä varttua riittävästi ennen talven tuloa. Lämpimämmillä leveysasteilla, kuten aroilla ja aavikoilla, ongelmaksi voi osoittautua kuivakausi, jolloin tosin lämpöä on riittävästi, mutta veden ja ravinnon puute voi usein rajoittaa elämää.

Eliöiden solut kuivuvat ilman vettä. Koska elinympäristössä voi olla puutetta vedestä, on etenkin kasveille kehittynyt useita rakenteellisia ominaisuuksia, jotka estävät liiallista haihtumista. Kuivuuden aikana useimmat eläimetkin pysyttelevät lähellä vettä tai yrittävät säästää sitä esimerkiksi pysyttelemällä varjossa. Useimmat eliöt eivät siedä ympäröivän veden suolaisuutta, sillä sen vaikutuksesta eliön solut kuivuvat. Kyky sietää suolapitoisuutta onkin merkittävä etu, ellei suolatonta vettä ole saatavilla.

Kasvit kasvavat parhaiten, kun ne saavat kasvualustastaan riittävästi ravinteita. Ravinteet ovat kivennäisaineita, joita kulkeutuu maahan, kun hajottajaeliöt hajottavat eloperäistä ainesta. Niitä myös liukenee



Eliöihin vaikuttaa suuri joukko erilaisia ympäristötekijöitä. Elottoman luonnon ominaisuudet ovat abioottisia tekijöitä. Lisäksi jokainen eliö elää niin oman lajinsa kuin muidenkin lajien yksilöiden kanssa erilaisissa vuorovaikutussuhteissa. Esimerkiksi kasvillisuus muodostaa elinympäristön eläimille. Tätä elävän luonnon muodostamaa kokonaisuutta sanotaan bioottiseksi eli elolliseksi ympäristöksi.

maaperään kallioperän kiviaineksista. Liukenemisen tehokkuus riippuu maaperän pH-arvosta eli happamuudesta. Kasvilajit ja välillisesti niistä riippuvat eläinlajit viihtyvät parhaiten paikoissa, joissa ravinnepitoisuus ja pH ovat niiden kannalta edullisimmat. Kasveille tärkeimpiä ravinteita ovat nitraatit, fosfaatit ja kalium, joiden saanti sääteleekin kasvilajistoa ja kasvillisuuden runsautta.

Elottomalla luonnolla voi olla myös muunlaisia, rajujakin vaikutuksia eliöstöön. Toistuvat tulipalot ovat osa luonnon kiertokulkua alueilla, missä on toistuvasti kuivakausia, esimerkiksi savanneilla. Tuli on muokannut luontoa merkittävästi myös meidän havumetsissämme. Esimerkiksi männylle on kehittynyt paksu tyvikaarna, jonka avulla se selviytyy useimmista paloista. Myös voimakas tuuli, myrskyt, aallokko ja jää vaikuttavat lajistoon ja eliöiden ulkonäköön etenkin merien ja suurten järvien rannoilla.

Neulasten rakenne ja paksu runkokaarna suojaavat mäntyä veden liialliselta haihtumiselta etenkin kevättalvella, kun aurinko jo lämmittää, mutta maa ja sen vesivarastot ovat vielä jäässä. Runkokaarna suojaa myös tulelta.

Keväiset jäämassat saattavat murjoa rantavyöhykettä ja siinä kasvavia tervaleppiä todella rajusti.

Eliöt sopeutuvat ekolokeroonsa

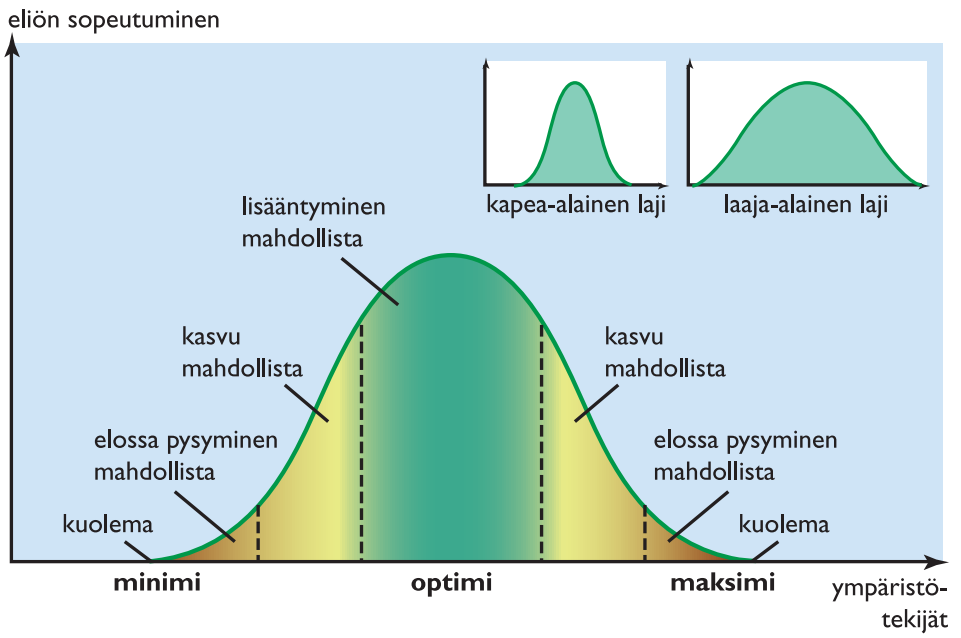
Eliöt sopeutuvat evoluution kuluessa elämään tietynlaisessa abioottisessa ja bioottisessa ympäristössä. Esimerkiksi kesykyyhkyjen eli pulujen tyypillisiä elinympäristöjä eli biotooppeja ovat kaupunkien puistot, mutta niiden villimuotojen elinympäristöt sijoittuvat puolestaan Keski-Euroopan vuoristoalueille. Valkoselkätikan biotooppia ovat vanhat pökkelöityneet metsät, ja ulpukka viihtyy taas suojaisissa, pehmeäpohjaisissa rantavesissä.

Lajin sopeutumista elinympäristöönsä voidaan kuvata ekolokero-käsitteen avulla. Jokaisella eliöllä on elinympäristössään oma toiminnallinen asemansa tai tehtävänsä, jota kutsutaan ekolokeroksi. Elinympäristöä kuvaavat ominaisuudet ilmaisevat ikään kuin eliön osoitteen ja elintavat sen ammatin.

Ekologista lokeroa voidaan kuvata useiden eri ympäristötekijöiden avulla. Niitä ympäristön mahdollisuuksia tai ominaisuuksia, joita eliöt hyödyntävät, kutsutaan myös ympäristöresursseiksi. Niitä ovat esimerkiksi ravinto, mahdolliset pesäkolot, valo, vesi tai kasvualustan ravinteisuus. Kukin laji, mutta myös saman lajin eri yksilöt, on sopeutunut hyödyntämään ympäristöresursseja omalla tavallaan. Osittain samoja resursseja käyttävät eliöt joutuvat kilpailemaan keskenään, koska resursseja on tarjolla vähemmän kuin eliöt tarvitsevat niitä. Kilpailevien eliöiden on pakko kaventaa ekolokeroaan, mikä samalla alentaa niiden

Valkoselkätikka

Pikkutikka



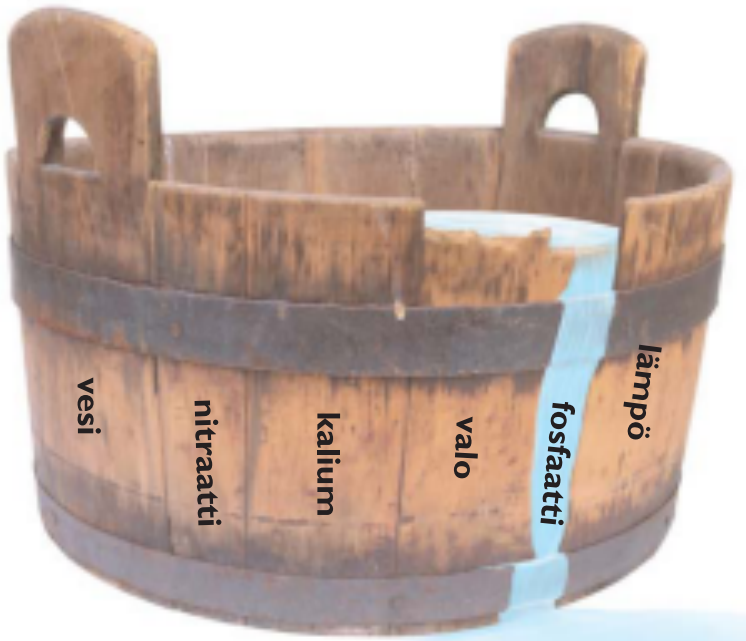
Valkoselkätikan ekolokeroa kuvaavia abioottisia ympäristötekijöitä ovat paikalliseen ilmastoon liittyvät tekijät. Bioottisia ovat esimerkiksi metsän ikä, tiheys ja puulajikoostumus. Lisäksi lajin ekolokeroa kuvaavat hyönteisistä ja niiden toukista koostuva ravinto, lajin vihollliset ja kilpailevat lajit. Valkoselkätikan suosimaa lahopuustoa ja sopivaa ravintoa ei ole Suomessa kovin paljon tarjolla, joten laji on Suomessa harvinaisempi kuin sitä pienempi sukulaislaji pikkutikka. Lajien ravinto koostuu erilaisista hyönteisistä ja niiden toukista. Lajien ekolokerot kuitenkin eroavat toisistaan, sillä valkoselkätikka hakee ruokansa lahopuiden rungoista ja pikkutikka oksistosta.

Eliön ekolokeron ominaisuuksia voidaan havainnollistaa eri ympäristötekijöitä kuvaavien käyrien avulla. Yleensä sopeutuminen ilmenee yksilömääränä ja lisääntymistehokkuutena.

elinvoimaisuutta. Tietyn eliölajin ekolokeroon sopeutuminen ilmenee sen rakenteessa ja elintoiminnoissa sekä eläimillä myös käyttäytymisessä.

Eliöillä on ympäristön eri ominaisuuksien vaihtelun suhteen tietynlainen sietokyky. Sitä rajaavat ympäristön ominaisuuden minimi- ja maksimiarvo, joiden välissä laji tulee toimeen. Ominaisuuden vaihtelun optimaalinen tilanne on kohta, jossa lajin yksilöt menestyvät parhaiten, ovat elinvoimaisimpia ja lisääntyvät tehokkaimmin. Lajit, joiden sietoalue on kapea tai selvärajainen, sopivat hyvin ympäristön tilan ilmentäjälajeiksi eli bioindikaattoreiksi. Elinympäristön muutokset heijastuvat esimerkiksi lajin yksilöiden elinvoimaisuuteen ja runsauteen.

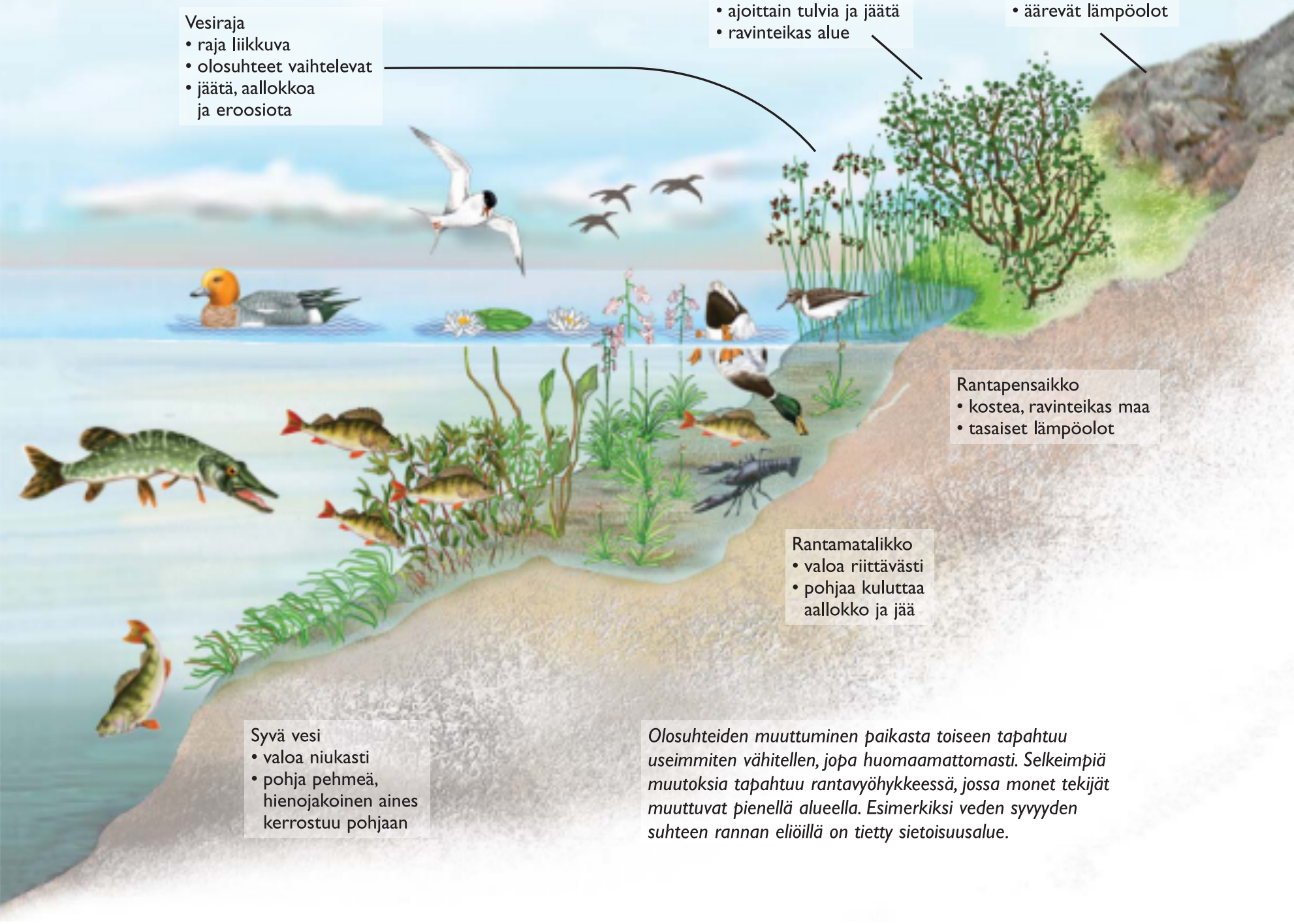
Sitä fysikaalista tai kemiallista ympäristötekijää, joka voimakkaimmin rajoittaa jonkin eliön menestymistä, sanotaan minimitekijäksi. Esimerkiksi veden ja typen saatavuus määräävät, missä ja kuinka hyvin kasvit pystyvät kasvamaan. Samalla ne määräävät myös monien eläinten levinneisyyden. Vesistöjen kasviplanktonin kasvua rajoittava minimitekijä on usein fosfaatti, jota vesissä on normaalisti vähän. Maatalouden tai taajamien ravinnepäästöjen takia fosfaattien määrä voi kasvaa, mikä usein johtaa loppukesän lämpimien säiden jälkeen syanobakteerien voimakkaaseen runsastumiseen eli sinileväkukintaan.



Minimitekijöiden merkitystä voidaan kuvata rikkoutuneen, vuotavan saavin avulla. Kasvien tuotantoteho riippuu saavin alimman laudan tasosta. Kuvassa minimitekijä on fosfaatti. Jos sen määrä kasvaa, tulee minimitekijäksi valon määrä.

Rannoilla yleisenä kasvava järviruoko on kasvupaikkavaatimustensa suhteen laaja-alainen ja siksi yksi laajimmalle levinneitä kasvilajeja maailmassa. Se voi kasvaa monenlaisilla kasvualustoilla, avo- ja suojarannoilla sekä yli kolmen metrin syvyydestä aina kuivalle maalle saakka. Lajin sisäinen suuri perinnöllinen muuntelu mahdollistaa laajan levinneisyyden.

Limaska, pieni veden pinnan irtokelluja, on huomattavasti järviruokoa vaativampi vesikasvi: se kasvaa yleensä vain tuulelta suojassa ja suosii runsasta veden ravinteisuutta ja on siten ympäristön sieto-ominaisuuksiltaan kapea-alainen. Limaska ilmentää mainiosti järven rehevyyttä, sillä sitä esiintyy paljon vain runsasravinteisissa vesissä. Sen runsaus kertoo siten veden laadusta ilman ravinnemittauksiakin.

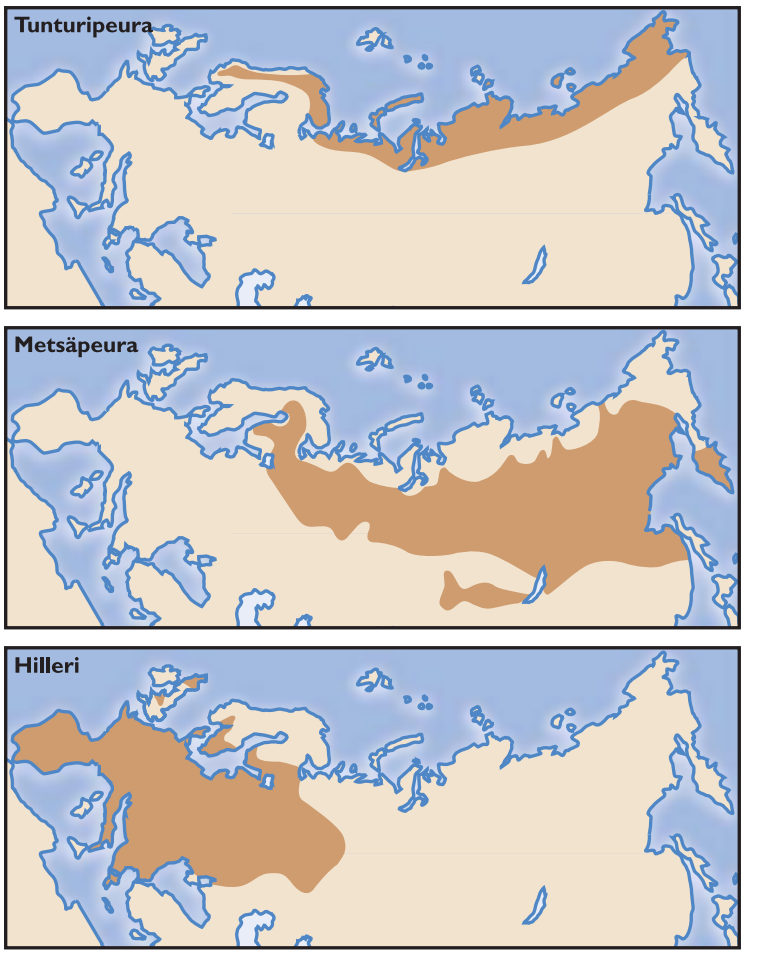


Olosuhteiden muuttuminen paikasta toiseen tapahtuu useimmiten vähitellen, jopa huomaamattomasti. Selkeimpiä muutoksia tapahtuu rantavyöhykkeessä, jossa monet tekijät muuttuvat pienellä alueella. Esimerkiksi veden syvyyden suhteen rannan eliöillä on tietty sietoisuusalue.

Abioottiset ja bioottiset ympäristötekijät vaikuttavat lajien levinneisyyteen

Lajeille on ominaista, että ne pyrkivät yksilömäärän kasvaessa samalla laajentamaan levinneisyysaluettaan uusille alueille. Muuntelun ansiosta osa yksilöistä sopeutuu muuttuviin oloihin paremmin ja voi ekolokeronsa mahdollistamissa rajoissa löytää uuden, suotuisan elinalueen. Yleensä suurin osa populaation yksilöistä menehtyy vieraissa olosuhteissa. Kunkin lajin levinneisyys voi kattaa vain sellaisia alueita, joilla olosuhteet ovat sopivia ja jotka täyttävät lajin yksilöiden elinpaikkavaatimukset. Todellinen levinneisyys ei kuitenkaan yleensä ole kovin laaja, koska laji ei ehkä ole vielä ehtinyt tai jonkin esteen takia pystynyt levittäytymään nykyistä laajemmalle alueelle. Syynä voi olla maantieteellinen este, kuten vuoristo tai laaja vesistö, tai jokin biologinen tekijä, kuten kilpaileva laji, loinen tai peto. Uusi ympäristö on yleensä erilainen ja asettaa lajille uusia valintapaineita. Hajottavan valinnan tuloksena voi syntyä uusia alalajeja.

Suomen eliöstössä runsaimmat lajit ovat viileään ilmastoon sopeutuneita pohjoisen havumetsävyöhykkeen lajeja. Esimerkiksi nisäkäslajistoon kuuluu varsinaisten havumetsälajien (metsäjänis, hirvi) lisäksi eteläisempää eurooppalaista (rusakko, siili) ja pohjoisempaa arktista lajistoa (naali, tunturisopuli). Eräiden lajien nykyinen levinneisyys maassamme on puolestaan olosuhteiden muuttumisen takia vain suppea jäänne aikaisemmasta, laajemmasta levinneisyydestä. Tällaisia ovat Saimaan alueen isoilla järvillä tavattava saimaannorppa ja Etelä-Suomen lämpimien rinnelehtojen jalavaesiintymät. Päinvastaisiakin esimerkkejä on, kuten töyhtöhyyppä. Sen levinneisyysalue on laajentunut sadan vuoden aikana Lounais-Suomesta Metsä-Lappiin saakka. Alun perin kosteiden rantaniittyjen lintu on sopeutunut ihmisen luomaan ympäristöön ja omaksunut elinympäristökseen maatalousmaita. Myös 1900-luvun aikana tapahtunut ilmaston lämpeneminen edisti töyhtöhyypän levinneisyyden laajenemista. Runsas maatalouskoneiden käyttö pelloilla on kuitenkin johtanut monin paikoin kannan voimakkaaseen harventumiseen.

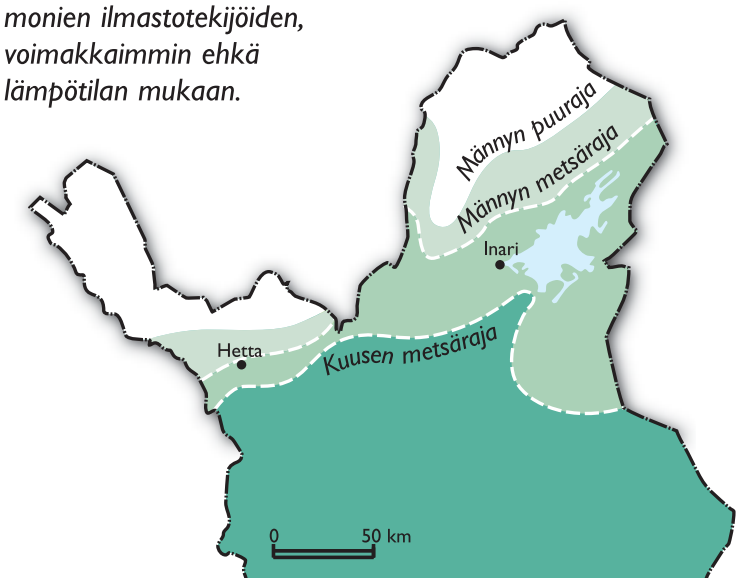


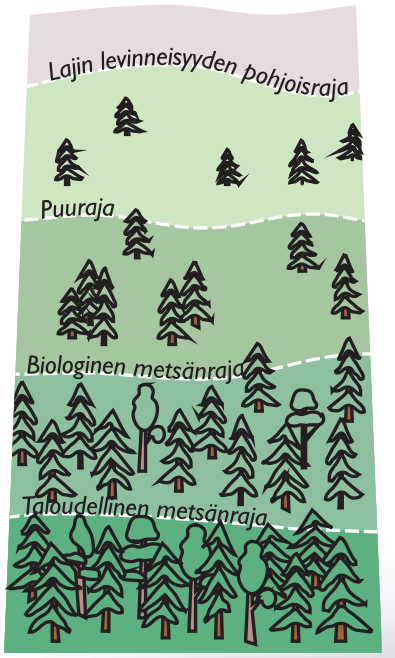
Tunturipeura on esimerkki arktisesta, metsäpeura siperialaisesta ja hilleri eurooppalaisesta levinneisyystyypistä.

Kuukkeli on rauhallisten takamaiden vanhojen kuusikoiden laji. Sen levinneisyysalue Suomessa on supistunut sitä mukaa kuin sopivat elinympäristöt ovat vähentyneet. Ennen koko maassa tavallisen kuukkelin esiintymät ovat jo Keski-Suomessa niukkoja ja levinneisyys painottuu Pohjois-Suomeen.

Töyhtöhyypän levinneisyysalueen kehitys Suomessa 1900-luvulla.

Mänty on pohjoisin puulajimme ja sen metsäraja määräytyy monien ilmastotekijöiden, voimakkaimmin ehkä lämpötilan mukaan.





Yksittäisten puiden kasvumuotoina vaivaispuu, varpu ja pensas

Puut kasvavat ryhmissä tai yksittäin suotuisimmilla paikoilla

Metsän luonnollinen uusiutuminen on hidasta ja epävarmaa (suojametsät)

Erilaiset metsänhoidolliset toimenpiteet mahdollisia

Kuusen levinneisyysalueeseen kuuluu pohjoinen havumetsävyöhyke, jonka pohjoisreunalla talvien ankaruus ja erityisesti kasvukauden lyhyys rajoittavat kuusen elämää. Koska kesien lämpöolot ja pituudet vaihtelevat paljon, sattuu äärialueilla hyviä siemenvuosia ehkä vain kerran sadassa tai viidessäkymmenessä vuodessa. Maastoon varisseista siemenistä kasvaneet uudet taimet kuolevat usein, mutta sopivaan kasvupaikkaan juurtunut taimi saattaa sinnitellä ja jäädä eloon. Kuusen levinneisyyttä kuvaa siis monta erilaista rajaa: lajin levinneisyysraja, joka määräytyy kaikkien esiintymien mukaan, puuraja, joka määräytyy sen mukaan, onnistuuko kuusi saavuttamaan puun mitat, metsänraja eli yhtenäisten metsiköiden pohjoisraja ja taloudellinen metsänraja, joka kuvaa säännöllisesti uudistuvien metsien pohjoisrajaa.

Myös epäsuotuisissa oloissa on selviydyttävä

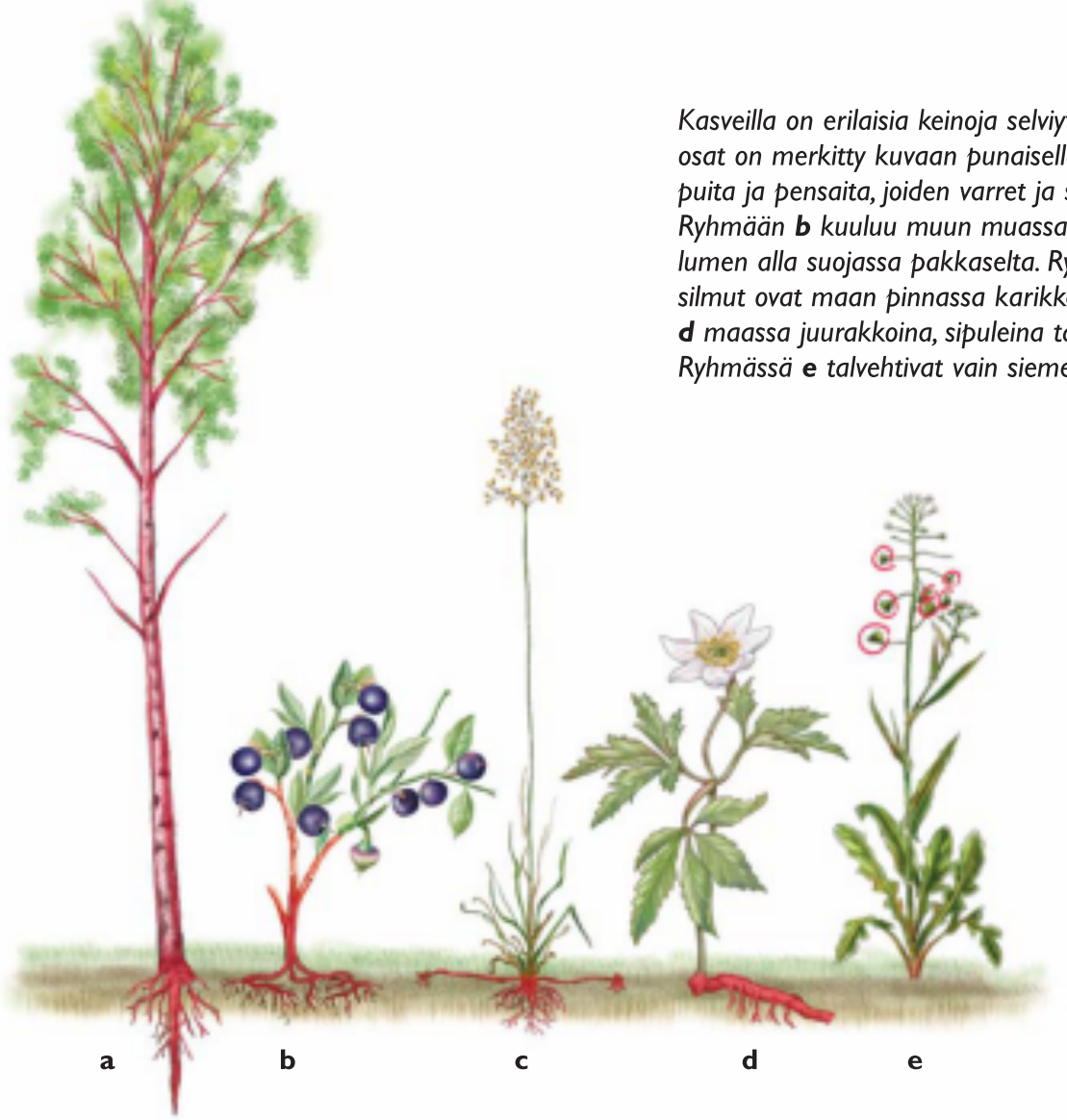
Sekä kasveille että eläimille on kehittynyt erilaisia keinoja selviytyä epäsuotuisan ajan, kuten kylmän talven tai kuivakauden yli. Lauhkean vyöhykkeen lehtipuut talveentuvat eli reagoivat elintoiminnoillaan päivän lyhenemiseen ja ilmojen kylmenemiseen. Ne hajottavat lehdissään olevan lehtivihreän, jolloin lehteen jää jäljelle keltaisia ja punaisia väriaineita. Seurauksena on puiden ruskaväritys. Kun arvokkaimmat aineet on

Riekko viettää kovimmat pakkaset lumipoterossa eli kiepissä.

varastoitu runkoon, lehdet voidaan varistaa talveksi maahan. Talvinen lepotila päättyy keväällä, kun lämpötilat jälleen kohoavat. Monesti silmujen avautuminen ja kukinnan alkaminen kuitenkin edellyttävät, että kasvi on kokenut riittävän rajun kylmäkäsittelyn. Havupuiden neulasten pinta-ala on pieni, mikä vähentää haihtumista ja suojaa puita talviselta veden puutteelta. Kuivien arojen kasvillisuuteen taas kuuluu useita sipulikasveja, joiden talvehtivat osat ovat aivan maan pinnassa, jotta ne pystyvät nopeasti käyttämään hyväkseen kevään lämmön ja sulavasta lumesta peräisin olevan kosteuden.

Kun eläinten ravinnon saanti talvisin vaikeutuu, ne yrittävät erilaisin keinoin säästää energiaa. Yksi ratkaisu on elintoimintojen hidastaminen. Vaihtolämpöiset eläimet, kuten hyönteiset sekä matelijat ja sammakot, vaipuvat kylmänhorrokseen, jossa elintoiminnot ovat lähes pysähdyksissä ja ruumiin lämpötila voi laskea jopa hiukan alle nollan. Tasalämpöisistä eläimistä lepakot ja siili puolestaan vaipuvat talvihorrokseen, jossa elimistön lämpötila pysyy parissa lämpöasteessa. Sen ylläpitämiseen tarvittavan energian eläimet saavat ennen talvea tankatuista rasvakudoksistaan. Karhu ja mäyrä hakeutuvat suojaisiin lepopaikkoihin ja nukkuvat talviunta, jossa niiden ruumiin lämpötila alenee vain hiukan. Sen vuoksi niiden on pitänyt ehtiä hankkia loppukesän ja syksyn aikana kunnolliset rasvavarastot elimistöönsä. Aktiivisesti talven aikana liikkuvat eläimet, kuten useimmat pikkunisäkkäät ja talvilinnut hakevat kovilla pakkasilla suojaa lumen alta ja havupuiden kainalosta. Nisäkkäiden lämmönhukkaa vähentää myös syksyn aikana kehittynyt paksu talviturkki. Osa eläimistä selviytyy muuttamalla käyttäytymistään. Esimerkiksi myyrät ja hiiret hakeutuvat rakennuksiin ja muuttolinnut siirtyvät pois kylmiltä seuduilta.

Kuumilla aavikoilla ongelmana on liiallinen lämpeneminen. Siksi useimmat aavikoiden eläimet ovat päivät suojakoloissaan ja liikkuvat öisin, kun on viileämpää. Lisäksi niillä on lämmön haihduttamista edistäviä rakenteita, kuten voimakkaasti ulkonevat korvat sekä pitkät ja hoikat raajat.



*Kasveilla on erilaisia keinoja selviytyä talvesta. Talvehtivat osat on merkitty kuvaan punaisella. Ryhmän **a** lajit ovat puita ja pensaita, joiden varret ja silmut kestävät kylmyyttä. Ryhmään **b** kuuluu muun muassa varpuja, jotka talvehtivat lumen alla suojassa pakkaselta. Ryhmässä **c** talvehtivat silmut ovat maan pinnassa karikkeen suojassa ja ryhmän **d** maassa juurakkoina, sipuleina tai varsimukuloina. Ryhmässä **e** talvehtivat vain siemenet.*

TEHTÄVÄT

1. Käsitteitä

Mitä tarkoittavat käsitteet:

a. levinneisyys, b. ekolokero, c. ympäristöresurssi, d. sietoisuus, e. optimi, f. minimitekijä, g. ilmentäjälaji?

2. Luokittele ympäristötekijöitä

Luokittele seuraavat ympäristötekijät a. fysikaalisiin, b. kemiallisiin ja c. bioottisiin ympäristötekijöihin: hiekkamyrsky, tulva, pakkanen, hapan sade, loinen, helle, sumu, salamanisku, kuivuus, home, metsäpalo, tuuli, routa, virustauti, lumipeitteen paksuus, suojaava kasvipeite, peto, maaperän karkeus, maaperän ravinteisuus, ravinto.

3. Kasvit ja kuivuus

Pohdi, mitä rakenteellisia ja toiminnallisia ominaisuuksia kasvit tarvitsevat selviytyäkseen

a. jatkuvasta kuivuudesta
b. säännöllisestä kuiva- ja sadekauden vaihtelusta.

4. Miten eläimet selviävät talvesta?

yo k-05

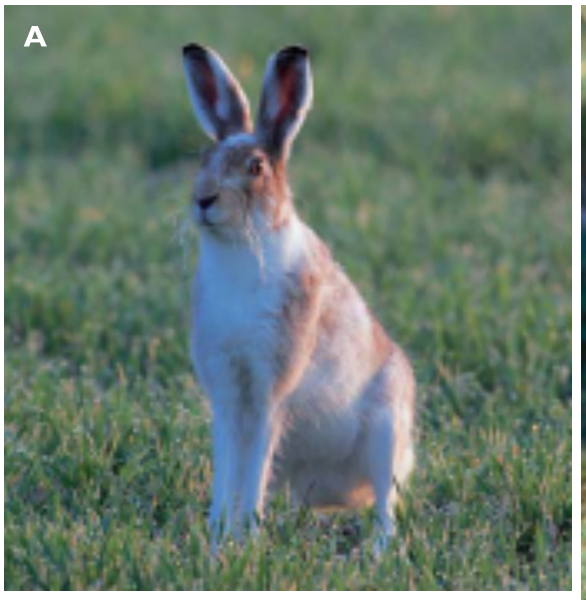
Selosta, millä tavoin kuvan esittämät luonnonvaraiset eläimet (A–C) selviävät talvesta ja millainen merkitys lumipeitteellä on niiden talvehtimiselle.

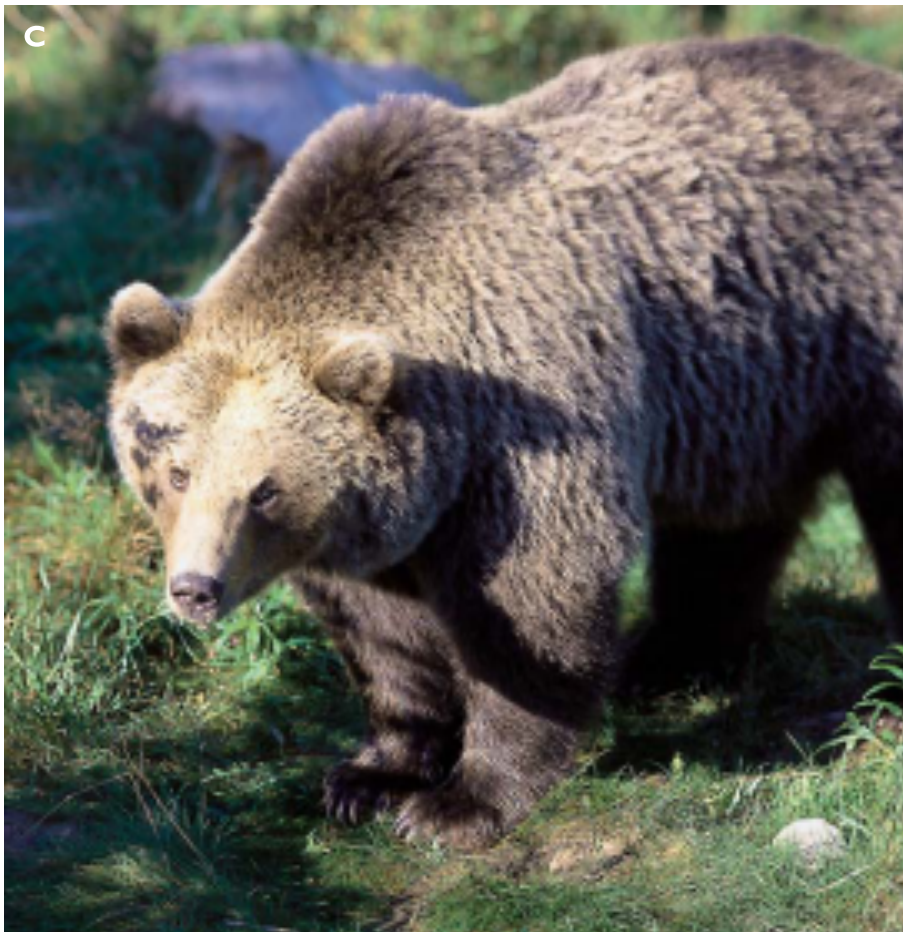
5. Siementaimien kasvattaminen

Eri puolilla Suomea sijaitsevilta 20 alueelta kerätyistä männyn siemenistä kasvatettiin suuret määrät siementaimia. Taimet siirrettiin kasvamaan keskenään samanlaisiin kasvatusoloihin tutkimuslaitoksen kasvatuskentälle Pohjois-Lappiin, 69° N. Viidentoista vuoden kuluttua laskettiin, kuinka suuri osuus kultakin alueelta peräisin olevista taimista oli elossa. Tulokset ovat taulukossa; ensin leveyspiiri, jolta siemenet ovat peräisin, sitten kyseiseltä leveyspiiriltä peräisin olevien elävien taimien osuus prosentteina istutetuista.

63° 13	66° 23	67° 28	68° 34	69° 24
63° 19	66° 30	67° 32	68° 37	69° 30
66° 14	67° 21	68° 20	68° 42	69° 47
66° 17	67° 31	68° 25	68° 28	69° 35

a. Piirrä aineistosta diagrammi.
b. Mikä on kokeen merkittävin tulos?
c. Anna biologinen selitys havainnoillesi.
d. Ystäväsi on aikeissa ostaa hakkuuaukean, jolle hän suunnittelee istuttavansa männyntaimia. Minkä neuvon voit antaa hänelle tämän tutkimuksen perusteella?





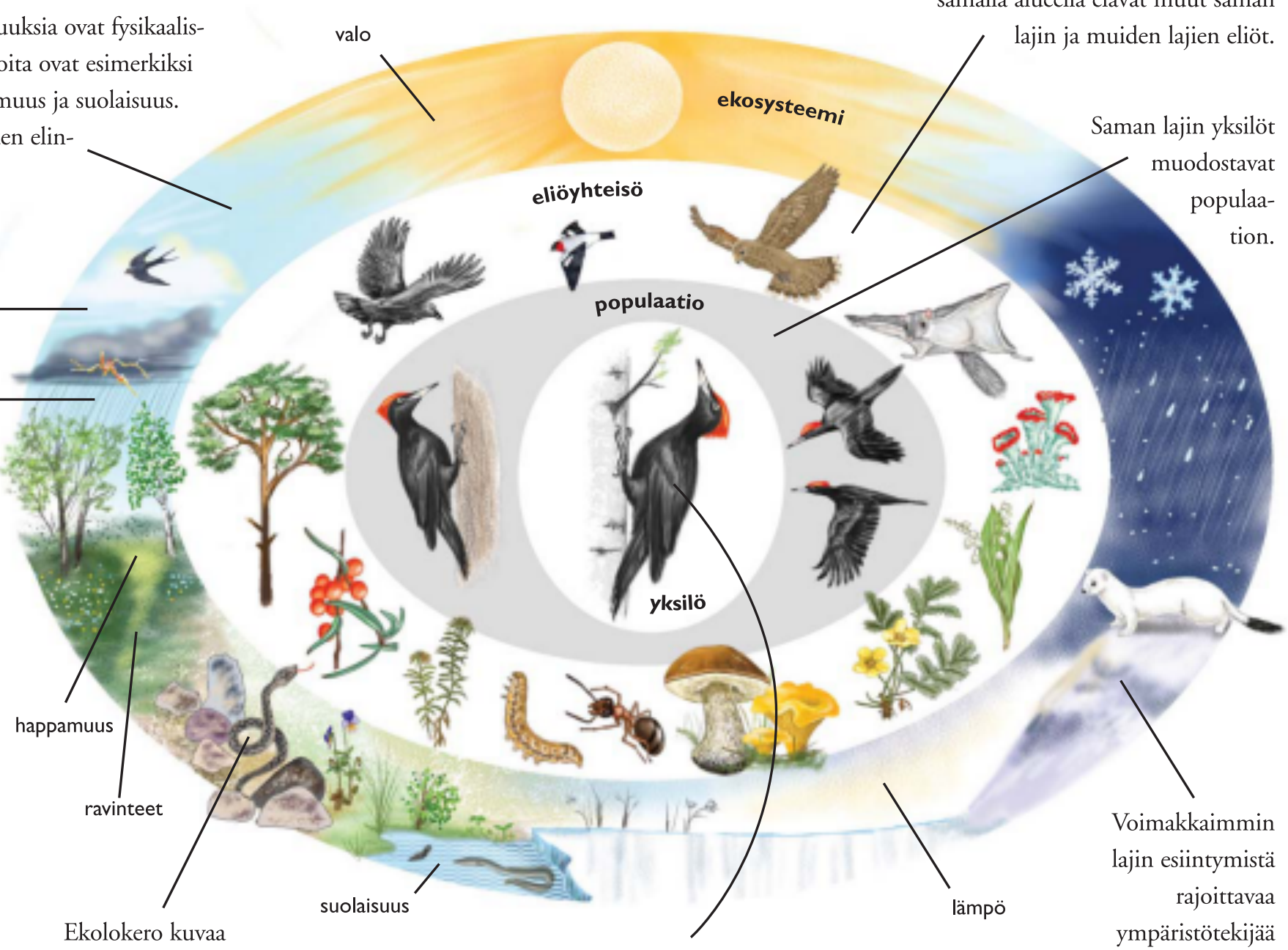
Yhteenveto

Ekologia on biologian osa-alue, joka tutkii eliöiden runsauteen ja levinneisyyteen vaikuttavia tekijöitä.

Abioottisia ominaisuuksia ovat fysikaalis-kemialliset tekijät, joita ovat esimerkiksi valo, lämpö, happamuus ja suolaisuus. Ne rajoittavat eliöiden elinmahdollisuuksia ja levinneisyyttä.

Eliöiden bioottisen ympäristön luovat samalla alueella elävät muut saman lajin ja muiden lajien eliöt.

Saman lajin yksilöt muodostavat populaation.



Ekolokero kuvaa eliön asemaa elinympäristössään.

Ympäristönsä ominaisuuksien suhteen vaateliaat tai sietoisuudeltaan kapea-alaiset lajit soveltuvat ilmentäjä- eli indikaattorilajeiksi.

Voimakkaimmin lajin esiintymistä rajoittavaa ympäristötekijää kutsutaan minimitekijäksi.

Avainsanat

abioottinen
bioottinen
ekologia
ekolokero
ilmentäjälaji
kapea-alainen
laaja-alainen
levinneisyys
minimitekijä
sietoisuus
sopeutuminen
tasalämpöinen
vaihtolämpöinen
ympäristöresurssi

12.

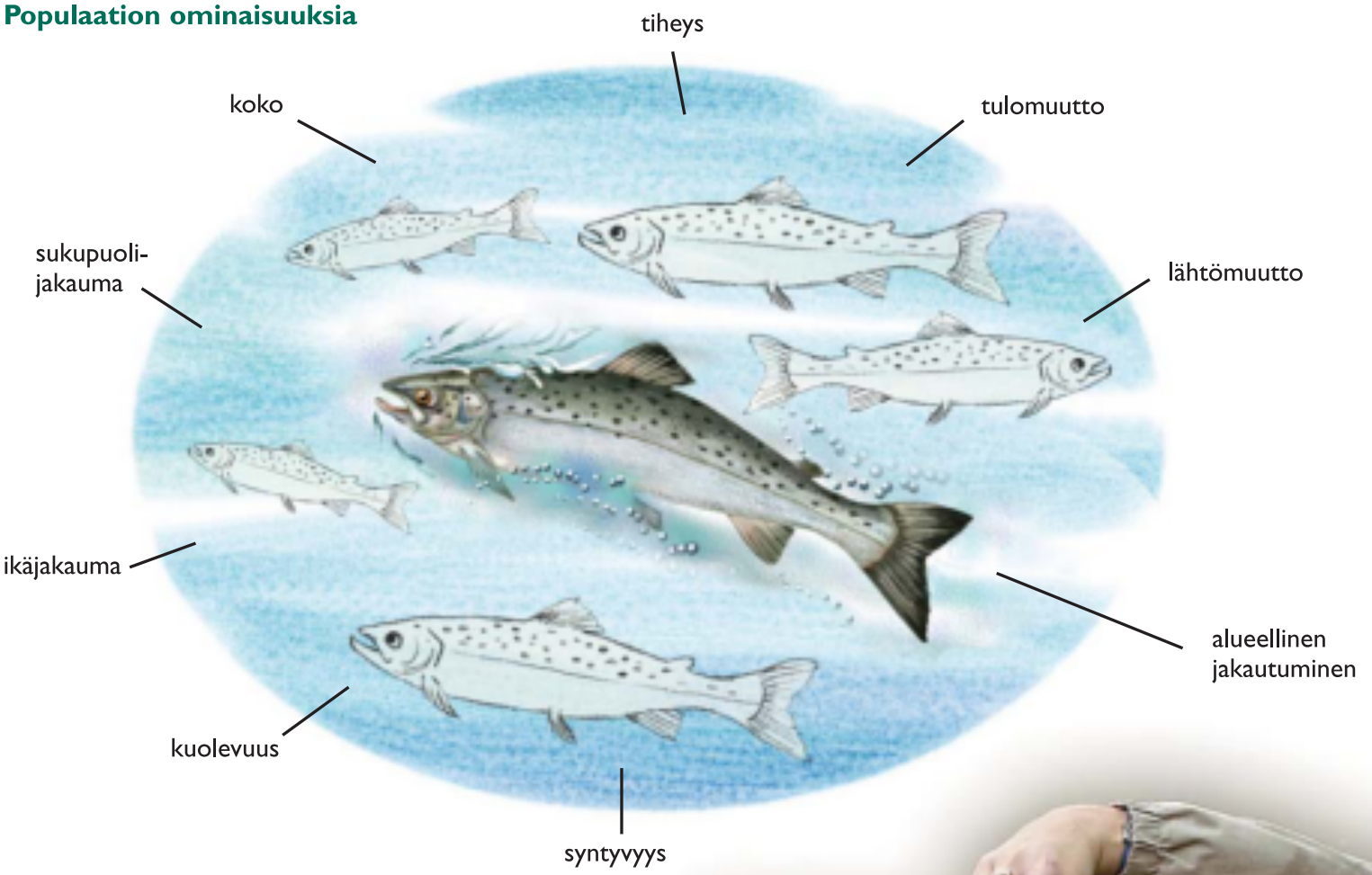
Saman lajin yksilöt muodostavat populaatioita

Pihapiirissä ja puistoissa asustelevat varpuset ovat Suomessa kulttuurilintuja, jotka selviytyvät vain pysyttelemällä ihmisen läheisyydessä. Ne eivät juuri levittäydy asutuksen ulkopuolelle, ja tästä syystä edes melko lähellä toisiaan sijaitsevien taajamien varpuset eivät yleensä kohtaa toisiaan. Varpuset muodostavat siten erillisiä populaatioita, joiden geenit eivät pääse sekoittumaan keskenään.

Populaation ominaisuuksista voidaan päätellä sen tulevaa kehitystä

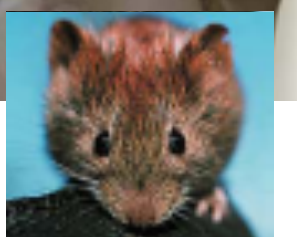
Tiettynä aikana tietyllä alueella elävät saman lajin yksilöt muodostavat populaation. Sen rajaamisessa on olennaisinta, että samaan populaatioon kuuluvat yksilöt voivat lisääntyä keskenään. Esimerkiksi Itämeren eri joissa kutevat lohet muodostavat erilliset populaationsa, koska keskinäistä lisääntymistä ei pääse tapahtumaan. Myös Saimaan vesistössä elää jääkauden jäljiltä lohikanta, joka on pysynyt täysin erossa Itämeren lohipopulaatioista. Useissa tapauksissa populaation määrittely on kuitenkin hieman ongelmallista, koska lisääntymisyhteisöä on vaikea rajata. Varsinkin isokokoiset eläinyksilöt voivat liikkua alueelta toiselle tai kasvien siitepölyä ja siemeniä voi kulkeutua tuulen tai eläinten mukana yllättävänkin pitkiä matkoja.

Populaation ominaisuuksia



Populaatiota tutkittaessa on yleensä selvitettävä sen koko, mikä onkin joissakin tapauksissa varsin helppoa. Esimerkiksi hirvien, susien tai karhujen määrä tunnetaan laskentojen perusteella riittävän tarkasti. Usein suoraa laskentaa ei voida tehdä, koska laskettavien yksilöiden määrittely on hankalaa (esimerkiksi haapa juurivesoineen) tai yksilöt piiloutuvat tai niitä on liian paljon laskettaviksi (esimerkiksi metsän myyrät tai hyönteiset). Tällöin populaation koon selville saamiseksi voidaan käyttää epäsuoria menetelmiä. Tällainen menetelmä on esimerkiksi ”pyynti–merkintä–uudelleenpyynti” –menetelmä.

Samalla voidaan laskea myös populaation tiheys, kun tunnetaan populaation asuttaman alueen koko. Esimerkiksi maamme runsaslukuisimpien lintujen, peippojen ja pajulintujen, tiheys on Etelä-Suomessa noin 50 paria neliökilometrillä ja lehtometsien mullassa eläviä lieroja on noin sata yksilöä neliömetrillä. Vesien pikkueläinten ja planktonin tiheys lasketaan usein tilavuusyksikköä kohti (yksilöitä/m^3 tai yksilöitä/litra). Populaation tiheyden määräävät ympäristön resurssit eli ympäristön kyky elättää lajin yksilöitä. Suurinta mahdollista tiheyttä sanotaan ympäristön kantokyvyksi.



punamyyrä

Myyrätutkija tutkii jonkun alueen myyräkannan kokoa ja kehitystä selvittämällä myyrien iän, kunnon ja lisääntymistehokkuuden. Populaation kokoa tutkija selvittää ”pyynti-merkintä-uudelleenpyynti” -menetelmällä. Myyrä pyydystetään ensin elävänä pyyntiloukkuun, tutkitaan huolellisesti ja lopuksi merkitään mikrosirulla, joka asetetaan niskanahan alle. Kun myyrä joutuu uudestaan ansaan, se on helppo tunnistaa kuvassa näkyvällä digitaalisella lukijalla. Pyyntikierroksilla saatujen merkittyjen ja merkitsemättömien yksilöiden osuuksista saadaan melko hyvä arvio populaation koosta. Populaation koon laskemisessa käytetään nykyisin tietokoneohjelmia.

Populaation rakenteeseen vaikuttavat monet tekijät

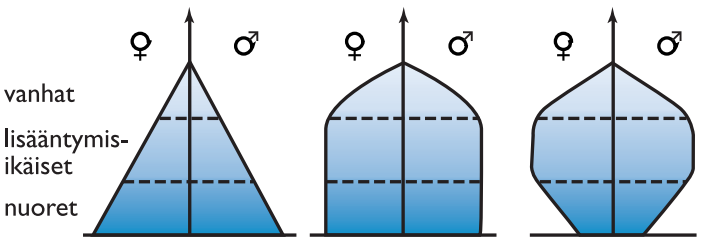
Populaation yksilöt voivat jakautua hyvin epätasaisesti, mikä ilmentää joskus lajin sopeutumista ympäristöönsä. Esimerkiksi eräät kalat elävät ryhmissä, koska siitä on etua ruuan hankinnassa sekä petojen välttämisessä. Monet linnut taas elävät hyvin säännöllisten välimatkojen päässä reviirikäyttäytymisen vuoksi. Populaation yksilöt voivat jakautua myös satunnaisesti, kuten metsikön puut.

Populaation koko ja tiheys riippuvat syntyvyydestä, kuolevuudesta ja yksilöiden siirtymisestä alueelta toiselle. Syntyvyys ja kuolevuus voidaan laskea suhteuttamalla syntyneiden ja kuolleiden määrä populaation kokoon, esimerkiksi 2/100 eli 2 prosenttia. Populaation kasvun kannalta on olennaista, kuinka paljon jälkeläisiä selviytyy lisääntymisikään asti. Usein jo ensimmäinen vuosi saattaa olla kohtalokas, ja silloin vain murto-osa yksilöistä varttuu tarpeeksi vanhoiksi.

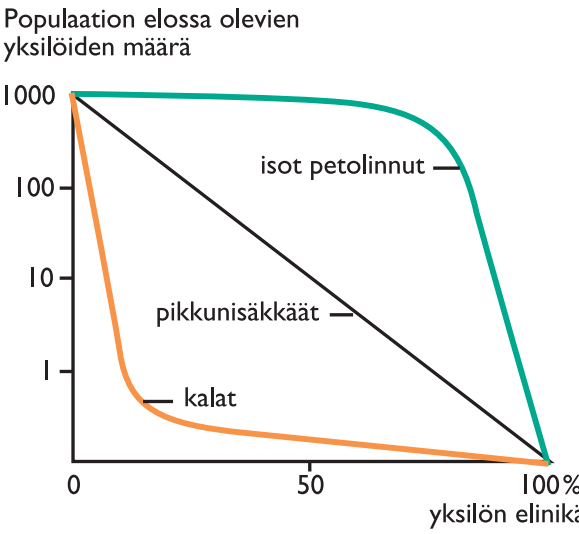
Tutkimuksissa selvitetään tavallisesti myös populaation sukupuolijakauma. Yleensä se on tasainen, mutta eräät eläinryhmät poikkeavat tästä. Esimerkiksi myyränaaraita on tavallisesti enemmän kuin myyräuroksia tai ampiaispopulaatiossa on keväällä vain naaraita. Kasvien suhteen ei sen sijaan voida tehdä selvää jakoa, koska useat kasvit ovat yksikotisia eli niillä on samassa yksilössä sekä emi- että hedekukat.

Populaation ikärakenne eli ikäryhmien suhteelliset osuudet vaihtelevat populaation syntyvyydestä ja kuolevuudesta riippuen. Ikärakennetta kuvataan ikäpyramidien avulla. Mitä leveämpi pyramidin tyvi on, sitä voimakkaammin populaatio todennäköisesti kasvaa. Kapeatyvinen pyramidi taas kuvaa pienenevää populaatiota.

Populaation kokoon ja tiheyteen vaikuttavat tekijät.

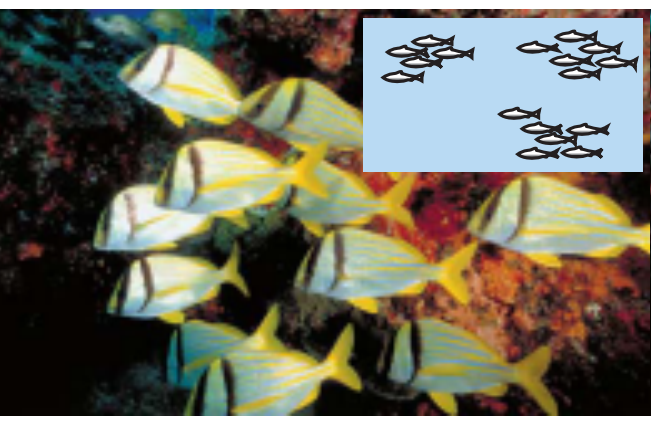


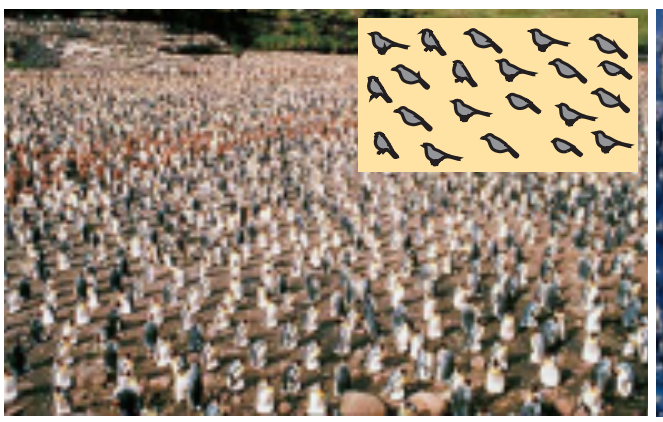
Ikäpyramidit: kasvava, vakaa ja pienenevä populaatio.



Eloonjäämiskuvaajan kolme päätyyppiä: kupera, kovera ja suora.

Jälkeläisten henkiin jäämistä voidaan havainnollistaa eloonjäämiskuvaajien avulla, jos tiedetään, mikä on populaation yksilöiden kuolevuus eri ikäluokissa. Kuvaaja on muodoltaan kovera, jos useimmat yksilöt kuolevat nuorina. Esimerkiksi kalat, sammakkoeläimet ja monet hyönteiset tuottavat hyvin suuren määrän jälkeläisiä, mutta vain harvat saavuttavat lajin suurimman mahdollisen eliniän. Kuvaaja on kupera, jos useimmat yksilöistä elävät vanhoiksi, ja suora, jos kuolevuus on tasaista kaikissa ikäluokissa.





Populaation yksilöiden jakautuminen voi olla ryhmittäistä, säännöllistä tai satunnaista.

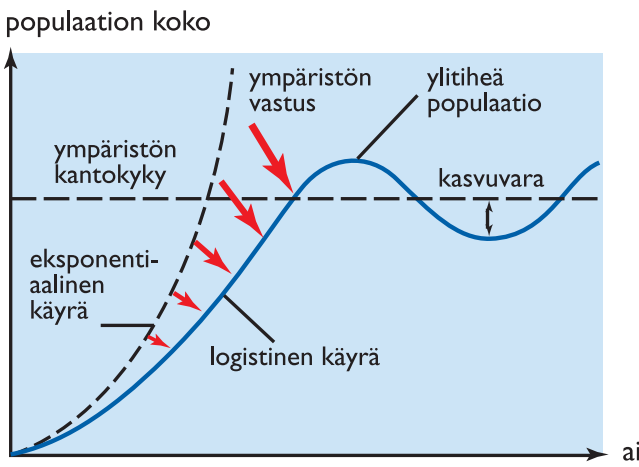
Ympäristö asettaa rajat populaation kasvulle

Jos elinympäristö on kaikin puolin edullinen, populaatio voi kasvaa hyvin nopeasti. Esimerkiksi yksi huonekärpänen munii yhden sukupolven aikana 120 munaa ja vuoden aikana syntyy seitsemän uutta sukupolvea. Tällaisen lisääntymisnopeuden ansiosta huonekärpäspopulaatiossa on vuoden päästä 6 182 442 727 320 kärpästä, vierivieren asettuneina kärpäset tarvitsisivat tilaa yli 600 km^2! Tällainen populaation kasvu olisi tietenkin mahdollista vain, ellei mikään rajoittaisi sitä. Populaation kasvua kuvaava käyrä olisi tuolloin muodoltaan loivan J-kirjaimen muotoinen eli eksponentiaalisen kasvun käyrä.

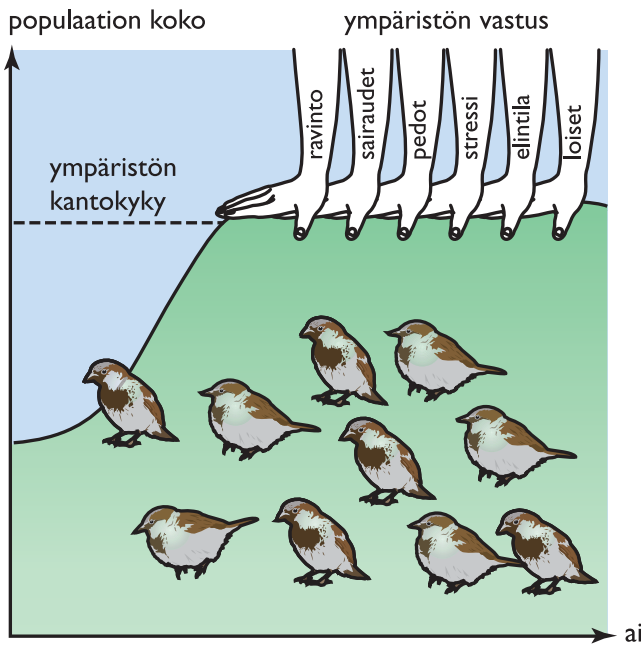
Tuttu pihapiirin lintu varpunen tuotiin Euroopasta Yhdysvaltoihin 1800-luvun lopussa. Se lisääntyi ja levittäytyi uudessa elinympäristössään hyvin nopeasti ja oletettiinkin, että kahdessakymmenessä vuodessa varpusia olisi lähes 15 lintua hehtaaria kohden. Vuonna 1920 yhdellä hehtaarilla oli tilastollisesti kuitenkin vain 0,5 varpusta. Kannan kasvua vähensi mm. se, että alueen monet haukka- ja pöllölajit alkoivat käyttää varpusia ravintonaan. Myös taudit tappoivat paikoin ylitiheäksi kasvaneessa kannassa varpusia tehokkaasti. Näitä populaation kasvua hillitseviä tekijöitä nimitetään ympäristön vastukseksi. Vastus kasvaa populaation kasvaessa, kunnes populaation kasvu tasaantuu ja se saavuttaa ympäristön kantokyvyn eli tason, jonka ympäristö voi ylläpitää. Varpusten määrän kasvua kuvaava käyrä taipui näin ollen loivan S-kirjaimen muotoiseksi eli logistiseksi käyräksi.

Suotuisissa oloissa populaation syntyvyys on suuri ja kuolevuus vastaavasti pieni. Silti kasvu on aluksi hidasta, koska yksilöitä on vähän eivätkä kaikki löydä itselleen lisääntymiskumppania. Vasta tietyn tiheyden saavutettuaan populaatio alkaa kasvaa eksponentiaalisesti. Tiheyden lisääntyessä voimistuu kuitenkin syntyvyyttä vähentävien ja kuolevuutta lisäävien tekijöiden vaikutus. Esimerkiksi yksilöiden elintila ja saatavilla oleva ravinto vähenevät. Tämä johtaa siihen, että lajin yksilöiden välinen kilpailu koko ajan niukkenevista resursseista tiukkenee. Kuolevuuden kasvu ja syntyvyyden väheneminen aikaansaavat sen, että populaation koko hakeutuu ympäristön kantokyvyn määräämälle tasolle. Vuodesta toiseen kantokyky saattaa kuitenkin muuttua, koska esimerkiksi ravintotilanne voi vaihdella. Siksi hyvinä vuosina populaation koko saattaa kasvaa selvästi huonoja vuosia suuremmaksi.

Esimerkiksi jyrsijäpopulaation saavuttaessa kantokyvyn rajan ravinto käy niukaksi. Tämän seurauksena yksilöiden kunto heikkenee vähitellen ja yksilöistä tulee alttiimpia loisille ja taudeille tai ne jäävät helpommin petojen saaliiksi. Kaikki tämä johtaa kuolevuuden kasvamiseen. Syntyvyys taas pienenee, koska eläminen liian lähellä naapureita johtaa hormonaalisiin muutoksiin, jotka lisäävät aggressiivisuutta ja alentavat lisääntymiskykyä. Myös suoranaiset käyttäytymishäiriöt, kuten tappelut, yleistyvät. Kilpailu kuluttaa energiaa ja yksilöt pyrkivätkin välttämään sitä. Yleensä osa jyrsijöistä siirtyy muualle, missä niillä on suuri riski menehtyä, mutta toisaalta mahdollisuus asuttaa uusia, suotuisia elinympäristöjä. Tästä johtuvat esimerkiksi ajoittain toistuvat valtavat sopulivaellukset pohjoisessa Fennoskandiassa.



Eksponentiaalinen ja logistinen käyrä.



Populaation kasvua rajoittavia tekijöitä sanotaan ympäristön vastukseksi.

Reviirikäyttäytyminen estää populaation kasvun liian tiheäksi

Populaation tiheyden kasvaessa yksilöiden kesken syntyy kilpailua koko ajan niukkenevista resursseista, kuten ravinnosta tai tilasta. Tällöin yhden yksilön syömä ravinto on muilta pois. Osalla lajeista kilpailu ilmenee taisteluina, joissa yksilöt puolustavat elinpiiriään. Usein tämä taistelu käydään erilaisten rituaalien kautta, minkä seurauksena itse taistelu ja siihen kuluva energia jäävät vähäisemmiksi. Esimerkiksi monet nisäkkäät voivat osoittaa käyttäytymisellään alistumista ja väistymistä.

Yksi tapa välttää lajin yksilöiden välistä eli lajin sisäistä kilpailua on reviirikäyttäytyminen, joka on tyypillistä esimerkiksi useimmille maamme lintulajeille. Ensimmäisinä muuttomatkaltaan saapuvat lintukoiraat valloittavat pesimäkautensa alussa itselleen mahdollisimman hyvän pesimisalueen eli reviirin. Ne eivät päästä sinne muita saman lajin koiraita, mutta houkuttelevat sinne naaraita. Myöhemmin saapuvat koiraat joutuvat tyytymään alueisiin, jotka tyydyttävät lajin tarpeita huonommin. Heikoimmat jäävät kokonaan ilman reviiriä, joten niiden on siirryttävä pois, jolloin ympäristön resurssit riittävät populaatiolle. Samalla laji levittäytyy uusille asuinalueille.

Peippokoiras ilmoittaa laulullaan vallanneensa hyvän reviirin.

Myös laumalla voi olla oma reviiri. Esimerkiksi sudet puolustavat reviiriään yhdessä.

Kiima-aikana merileijonaurokset mittelevät voimiaan ja tekevät mahtailueleitä. Mahtavin uros pääsee parittelemaan naaraan kanssa ja varmistaa siten perintötekijöidensä siirtymisen seuraaville sukupolville.

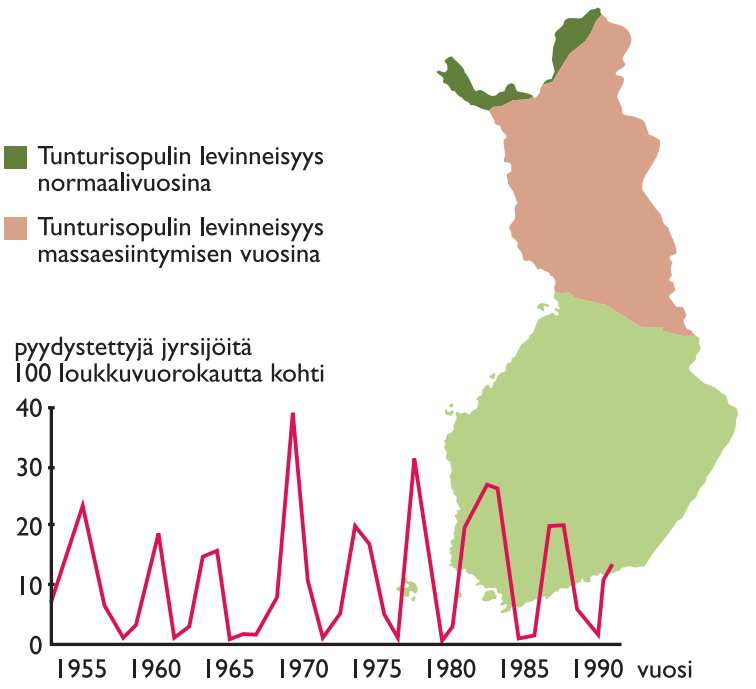
Populaation koko voi vaihdella epäsäännöllisesti

Suuret kannanvaihtelut eli muutokset populaation tiheydessä ovat tyypillisiä monille eläinlajeille. Yksilöiden määrä saattaa kasvaa jollain alueella olemattomiin kutistuneesta kannasta jopa sata- tai tuhatkertaisiin määriin ja jälleen romahtaa. Vaihtelut ovat usein epäsäännöllisiä ja niiden syyt voivat olla satunnaisia ja johtua yllättävistä säätilojen vaihteluista, jotka romahduttavat esimerkiksi ravinnon saannin ja vaikuttavat siten kuolevuuteen ja syntyvyyteen.

Tunnettuja esimerkkejä melko säännöllisistä kannanvaihteluista ovat suuret myyräpopulaatioiden vaihtelut. Hyvinä myyrävuosina myyriä syövillä pedoilla on runsaasti ravintoa, mikä kasvattaa petokantoja ja samalla lisää myyrien kuolevuutta niiden joutuessa petojen saaliiksi. Tämäkin vaikuttaa osaltaan kannanvaihteluihin.

Monet linnut ovat ravintospesialisteja, joilta ruoka joskus loppuu ja joiden on tällöin lähdettävä etsimään sitä muualta. Esimerkiksi havupuiden siemeniä ravintonaan käyttävät linnut joutuvat lähtemään huonona käpyvuonna vaellukselle: Pähkinähakkeja vaeltaa Suomeen idästä sembramäntyjen siemensadon ollessa niukkaa. Kun männyllä on huono siemenvuosi, vaelluksille lähtevät myös käpytikat ja käpylinnut.

Joinakin vuosina Etelä-Suomeen vaeltaa runsaasti tilhiä ja taviokuurnia, kun pihlajanmarjasato on pohjoisessa niukka. Myyräravintoon erikoistunut tunturipöllö puolestaan ilmestyy huonoina myyrävuosina jopa Helsingin alueelle saakka. Vaellusten seurauksena mahdollisesti ylitiheäksi paisunut kanta harvenee, lajin levinneisyysalue voi laajeta ja eri alueiden populaatioiden perintötekijät pääsevät sekoittumaan.



Lapin jyrsijöiden, kuten sopulin, säännölliset kannanvaihtelut tunnetaan hyvin. Vaihtelun perimmäisiä syitä ei kuitenkaan vielä tiedetä varmasti, vaikka selitysmalleja on useita.

Joinakin vuosina Lapin tunturimittaripopulaatiot kasvavat niin tiheiksi, että mittaritoukat syövät kaiken tarjolla olevan ravinnon. Tämän seurauksena tunturimittaripopulaatiot romahtavat. Myös tunturikoivikot tuhoutuvat ja niiden toipuminen entiselleen voi kestää useita vuosia.

Tunturimittari

TEHTÄVÄT

1. Populaation määrittely

Populaatio on tietyllä alueella elävien saman lajin yksilöiden joukko. Millainen on

a. avoin
b. suljettu populaatio?

2. Populaation kasvun säätely

Pohdi ja luettele populaation kasvua edistäviä (+) ja hillitseviä (-) tekijöitä, jotka ovat

a. populaation sisäisiä
b. populaation ulkopuolisia.

3. Massaesiintymät

yo k-05

Monen eläinlajin kanta kasvaa ajoittain niin voimakkaasti, että syntyy massaesiintymiä.

a. Mitkä bioottiset ja abioottiset tekijät voivat vaikuttaa massaesiintymän syntymiseen?
b. Selosta oheisten kuvien (ed. sivu) avulla sekä muita esimerkkilajeja apuna käyttäen, mitä biologisia vaikutuksia massaesiintymillä saattaa olla ja miten ihminen voi toimillaan vaikuttaa massaesiintymiin.

4. Bakteeripopulaation kasvu

Oheiset luvut kuvaavat bakteerien määrän kasvua petrimaljalla eräässä laboratoriokokeessa.

aika (h)	bakteerien lkm	aika (h)	bakteerien lkm
0	1	8	15 000 000
1	8	9	130 000 000
2	64	10	1 000 000 000
3	512	11	8 000 000 000
4	4 000	12	50 000 000 000
5	32 000	13	55 000 000 000
6	250 000	n. 20	52 000 000 000
7	2 000 000	n. 40	100

a. Piirrä lukujen perusteella diagrammi seuraavalla tavalla: Piirrä diagrammi tyhjälle A4-kokoiselle ruutuarkille. Käytä diagrammissa arvoja, joissa yksi kuvaajan pysty-akselin ruutu vastaa kahta miljardia bakteeria ja yksi vaaka-akselin ruutu yhtä tuntia.
b. Miten bakteeri lisääntyy? Mitä vaiheita voit erottaa kuvaajassa?
c. Miksi bakteeripopulaatio ei juuri kasva 12 tunnin jälkeen?
d. Mitä tapahtuu noin 40 tunnin kuluttua ja miksi?

Yhteenveto

Tietyn alueen saman lajin yksilöt, joiden on mahdollista lisääntyä keskenään, muodostavat populaation.

Populaation tärkeimpiä ominaisuuksia ovat sen tiheys, ikäjakauma, syntyvyys ja kuolevuus.

Populaation kokoon vaikuttavat syntyvyys, kuolevuus sekä tulo- ja lähtömuutto.

Luonnossa populaatioiden kasvu noudattaa logistista kasvukäyrää, koska ympäristön vastus vähentää kasvunopeutta populaation kasvaessa.

Populaation tiheys voi vain tilapäisesti ylittää ympäristön kantokyvyn.

Joidenkin eläinpopulaatioiden kasvua säätelee reviirikäyttäytyminen.

Ympäristön muutokset voivat aiheuttaa suuria kannanvaihteluita.

Avainsanat

eloonjäämiskuvaaja
ikäpyramidi
kannanvaihtelu
kuolevuus
lajinsisäinen kilpailu
logistinen kasvukäyrä
muuttoliike
populaatio
reviiri
syntyvyys
tiheyden säätely
ympäristön kantokyky
ympäristön vastus

13.

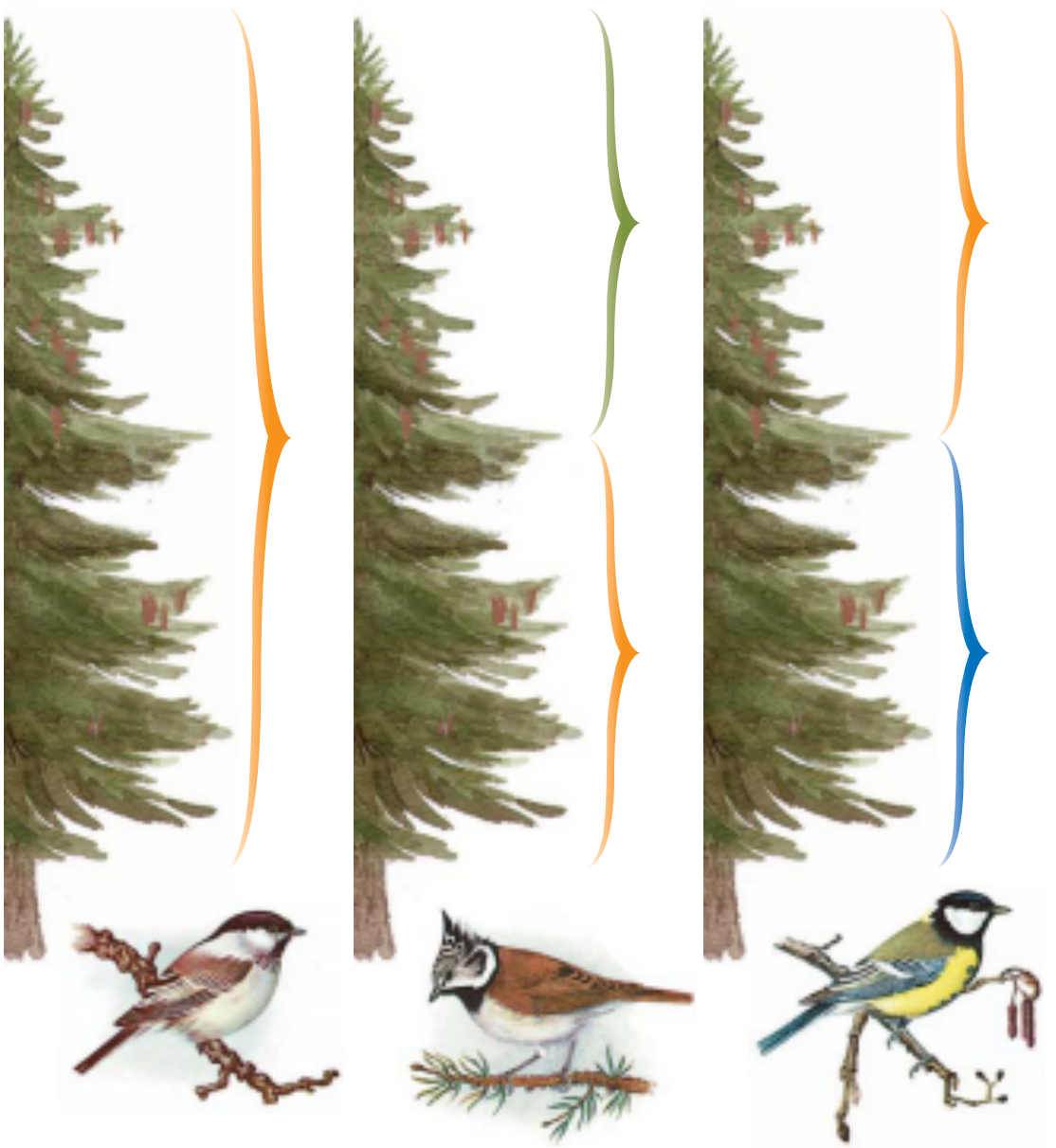
Alueen lajien populaatiot muodostavat eliöyhteisön

Savannilla tapahtuu koko ajan: pedot vaanivat saaliitaan, saaliseläimet ovat varuillaan, haaskansyöjät odottelevat sivummalla. Kasvinsyöjät vaeltavat pitkiäkin matkoja uusia laitumia hakien. Kaikilla on loisensa. Savannin populaatiot elävät keskinäisessä vuorovaikutuksessa ja ainakin välillisesti kaikki vaikuttavat jollakin tavalla toisiinsa.

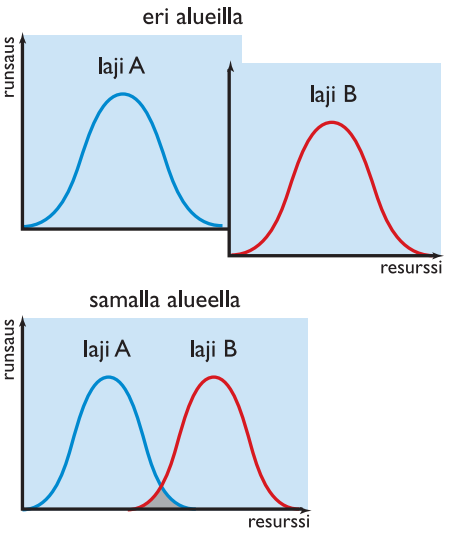
Lajien välinen kilpailu johtaa erikoistumiseen

Kilpailua ilmenee sekä saman lajin yksilöiden välillä populaation sisällä (lajinsisäinen kilpailu) että eri lajien välillä (lajienvälinen kilpailu). Lajienvälistä kilpailua syntyy, kun kaksi tai useampia lajeja käyttää yhteistä ympäristön resurssia, esimerkiksi samaa ravintoa. Resursseista käytävä kilpailu voi olla varsin huomaamatonta, mutta se voi ilmetä myös erilaisina kahakoina ja toisten yksilöiden hätistelynä ruokapaikoilta. Kilpailukykyisempi laji on se, jonka populaatiot pysyvät elinvoimaisempina ja lisääntyvät tehokkaammin.

Kasvit kilpailevat juurillaan ja lehdillään tilasta, valosta, vedestä ja ravinteista. Yleensä se kasvilaji, joka tulee toimeen pienemmällä valo- tai ravinne-



Hömötiainen Töyhtötiainen Talitiainen



Mitä enemmän kahden lajin ekolokerot muistuttavat toisiaan, sitä enemmän lajit joutuvat kilpailemaan ollessaan samalla alueella. Kilpailutilanne kuluttaa energiaa ja vähentää molempien lisääntymistehokkuutta, joten sitä kannattaa välttää. Kilpailun voimakkuutta kuvaa diagrammien tumma alue.

Hömötiaisella on ravinnon hankinnassaan laaja ekolokero. Kilpailutilanteessa se joutuu muuttamaan ruokailualuettaan tarpeen mukaan puun ylä- tai alaosaan riippuen siitä, kilpaileeko se töyhtö- vai talitiaisen kanssa.

määrällä, on kilpailussa vahvempi. Tähän perustuu varjossakin menestyvän kuusen parempi kilpailukyky muihin puulajeihin verrattuna metsän vanhentuessa ja tihentyessä. Osalle kasveista on kehittynyt myös kyky erittää ympäristöönsä aineita, jotka ovat muiden lajien kannalta haitallisia ja estävät näiden kasvun. Suurin osa kilpailusta käydään maan alla eri kasvien juuristojen välillä.

Eläimillä lajienvälinen kilpailu ilmenee hieman toisin kuin kasveilla, koska eläimet voivat muuttaa elinpaikkaansa ja jossain määrin myös ravintoaan. Usein kilpaillaan juuri ravinnosta. Yleensä tässä tilanteessa toinen laji osoittautuu vahvemmaksi ja heikompi joutuu väistymään, siirtymään toiselle alueelle tai etsimään ravintoa ekolokeronsa puitteissa uusista kohteista. Esimerkiksi rusakko ja metsäjänis joutuvat talvisin kilpailemaan ravinnosta. Rusakko on vahvempi viljelyalueilla ja ihmisasutuksen lähistöllä. Metsäjänis puolestaan pärjää paremmin metsäisillä seuduilla ja Keski- ja Pohjois-Suomessa, missä on lumisemmat talvet.

Mitä enemmän lajien ekolokerot muistuttavat toisiaan, sitä voimakkaampaa on lajien välinen kilpailu. Jos kahden lajin ekolokerot ovat hyvin samanlaiset, voi seurauksena olla syrjäyttävä kilpailu, jossa elinvoimaisempi laji syrjäyttää heikomman. Esimerkiksi Amerikasta Eurooppaan tuotu kanadanmajava on syrjäyttänyt monin paikoin euroopanmajavan. Samoin Yhdysvaltoihin tuotu eurooppalainen varpunen syrjäytti samassa elinympäristössä eläneen paikallisen varpuslajin.

Suomessa talvehtivat tiaislajit etsivät talvisin metsissä ravintoa erilaisissa sekaparvissa. Kun parvessa esiintyy päällekkäisiä ekolokeroita, lajit sopeutuvat

Isokäpylintu

Mänty

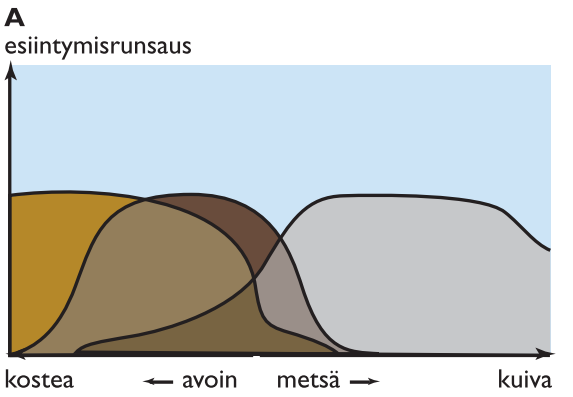
Pikkukäpylintu

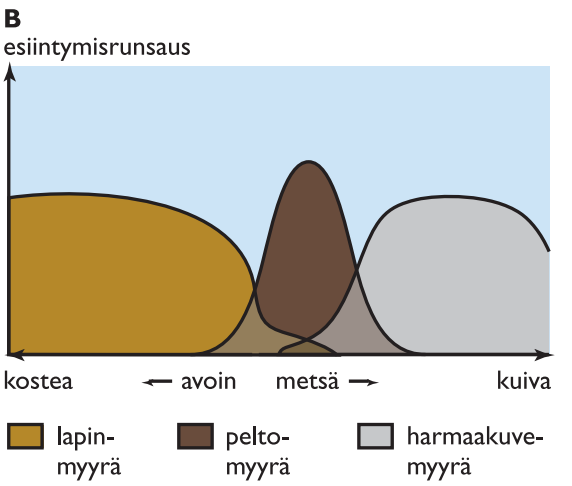
Kuusi

Kirjosiipikäpylintu

Lehtikuusi

Käpylintujen ristinokka on sopeuma käpysuomujen avaamiseen ja siementen esiin kaivamiseen. Lajit pesivät jo kevättalvella, kun havupuiden siemensato kypsyy eikä muuta ravintoa ole saatavilla.





Käyrät kuvaavat kolmen myyrälajin elinpiirejä Lapissa. Myyrätiheyksien ollessa alhaisia lajit asuttavat osittain samoja elinympäristöjä (kuvaaja A). Kun myyräkannat kasvavat, kilpailu kovenee ja lajien elinpiirit muuttuvat (kuvaaja B). Mikä lajeista on vahvin ja mikä heikoin kilpailija?

tilanteeseen ja muuttavat ruokailualuettaan. Hömötiainen hakee ravintoa joka puolelta kuusen oksistoa silloin, kun parvessa ei ole muita lajeja. Jos parvessa on töyhtötiaisia, jotka ovat erikoistuneet puiden latvaosiin, siirtyy hömötiainen etsimään ruokaa puiden alaoksilta. Alaoksiin erikoistunut talitiainen puolestaan saa hömötiaiset siirtymään latvaosiin. Töyhtö- ja talitiaisen ekolokerot eivät juurikaan mene päällekkäin, joten ne eivät joudu kilpailemaan keskenään.

Lajien evoluution aikana kilpailu on voinut johtaa myös pysyviin sopeutumiin ja jopa rakenteellisiin muutoksiin. Esimerkiksi Suomessa tavattavat käpylinnut, iso-, pikku- ja kirjosiipikäpylintu, käyttävät ravinnokseen havupuiden siemeniä. Välttääkseen kilpailua lajit ovat erikoistuneet eri puulajien siemeniin. Pikkukäpylintu käyttää lähes yksinomaan kuusen siemeniä, isokäpylintu männyn siemeniä ja kirjosiipikäpylintu lehtikuusen siemeniä. Tämä erilaistuminen näkyy nokan koossa ja muodossa: hentonokkaisin hyödyntää ravinnokseen lehtikuusen ja vahvanokkaisin männyn siemeniä.

Syödään ja tullaan syödyiksi

Kasvit ovat eliöyhteisössä omavaraisia, sillä ne pystyvät yhteyttämiskykynsä ansiosta sitomaan tarvitsemansa energian auringon valosta. Eläimet ja sienet eivät sen sijaan pysty yhteyttämään ja ovat siksi toisenvaraisia eliöitä. Yhteisön lajeja voidaan ryhmitellä sen perusteella, miten ja mistä lähteestä ne hankkivat elintoimintoihinsa tarvitsemansa energian.

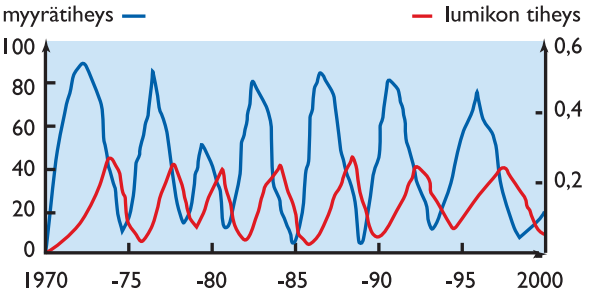
Kasvinsyöjät saavat energiansa kasveista

Yleensä kasvinsyöjä syö kasvista vain osan, joten kasvi ei kuole vaan pystyy jatkamaan kasvuaan. Tätä sanotaan laidunnukseksi. Kasveja syövät eläimet elävät elinalueensa kasvillisuuden tuoton varassa eivätkä kuluta kaikkea ravinnoksi kelpaavaa. Siksi kasveja on biomassalla eli eloperäisen aineen määrällä mitattuna tavallisesti moninkertainen määrä kasvinsyöjiin verrattuna. Yhdessä puussa voi olla esimerkiksi tuhansia lehtiä syöviä pikkueläimiä, mutta niiden biomassa on puuhun verrattuna pieni.

Pedot tappavat eläkseen

Pedoiksi kutsutaan eläimiä, jotka tappavat ravinnokseen saaliseläimiä. Osa pedoista on erikoistunut käyttämään ravintonaan vain yhtä saalislajia, osa taas on yleispetoja. Esimerkiksi lumikko on ravintospesialisti, joka syö enimmäkseen peltomyyriä. Siksi lumikon ja peltomyyrän välillä vallitsee riippuvuussuhde, joka ilmenee kummankin kannan jaksottaisena vaihteluna. Lumikon kanta vaihtelee vuoden tai kahden viiveellä myyräkantoja seuraten. Kun peltomyyriä on runsaasti, lumikolla on runsaasti ravintoa, sen lisääntyminen on tehokasta ja kanta tihenee. Kasvanut lumikkokanta verottaa entistä tehokkaammin peltomyyriä, mikä ainakin yhtenä merkittävänä syynä johtaa myyräkannan vähenemiseen. Näin myös lumikoiden ravintomäärä vähenee, mikä vähentää lumikoiden syntyvyyttä ja lisää niiden kuolevuutta ja taas kanta pienenee. Minkki on esimerkki yleispedosta, joka voi tarpeen tullen vaihtaa saaliseläintä, ja siksi sen kanta ei vaihtele yhtä paljon kuin lumikon.

Tuomenkehrääjäkoita voi olla joinakin vuosina erittäin runsaasti. Sen toukat elävät kutomansa seittiharson sisällä ja voivat syödä alkukesällä tuomet lehdettömiksi. Loppukesällä tuomi kuitenkin toipuu rasituksesta, kun perhoset aikuistuvat.



Lumikon runsaus seuraa myyräkantojen muutoksia pienellä viiveellä.

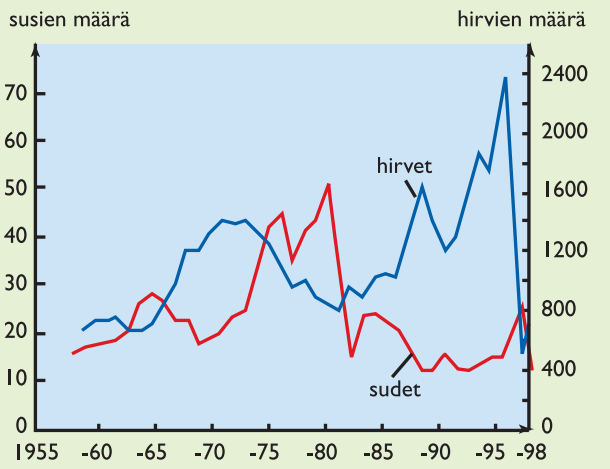
Peltomyyrä

Lumikko

HIRVET JA SUDET SAMALLA SAARELLA

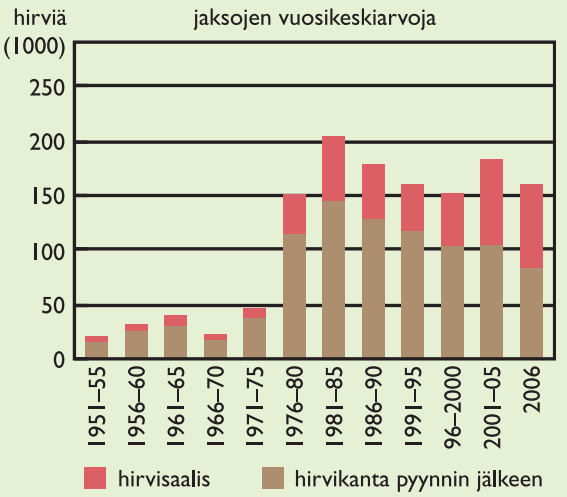
Isle Royale on Pohjois-Amerikan suurimman järven, Yläjärven, suurin saari, jonka hirvi- ja susipopulaatioita on tutkittu vuosikymmenien ajan. Hirvi saapui saarelle ilmeisesti 1900-luvun alussa ja lajin kanta kasvoi nopeasti, koska saarella ei ollut sitä saalistavia petoja. Kolmessakymmenessä vuodessa populaatio kasvoi 3 000 hirveen, ravinto loppui ja populaatio romahti 1930-luvun lopussa. Hieman myöhemmin populaatio elpyi, kun suurten metsäpalojen jälkeen kasvaneet laajat taimikot tarjosivat hirville ravintoa. Saarelle tuli jäitä pitkin myös susia, jotka muodostivat 1950-luvun aikana 20–40 yksilön populaation. Ne saalistivat hirviä vakiinnuttaen hirvikannan 600–1 200 yksilön tasolle. Kun susikanta pieneni, hirvikanta kasvoi ja kun susikanta kasvoi, hirvikanta pieneni.

Susien määrä pieneni rajusti 1980-luvun alussa. Todennäköisesti tämä johtui koirista levinneestä virustaudista, joka tappoi kolme neljäsosaa susikannasta. Seurauksena hirvikanta kasvoi voimakkaasti aina 2 400 yksilöön asti vuonna 1995. Alueen kantokyky ei tätä kestänyt, vaan hirviltä loppui ravinto ja niitä kuoli nälän heikentäminä pakkaseen ja loissairauksiin. Kahdessa vuodessa hirvikanta väheni noin 80 prosentilla. Heikkokuntoiset hirvet olivat helppoa riistaa susille, joiden kanta kasvoi suurimmilleen sitten 1980-luvun alun. Tutkijat yrittävät edelleen jatkuvissa seurantatutkimuksissaan selvittää, ovatko suuret kannanvaihtelut normaaleja eristyksissä olevien saarten populaatioissa vai johtuvatko ne muista syistä.



Susi- ja hirvikantojen muutokset Isle Royale -saarella 1955–98.

Hirvikannat Suomessa 1950–2006



Liian suureksi kasvanut hirvikanta voi aiheuttaa vahinkoja liikenteelle ja metsätaloudelle. Petojen vähyyden vuoksi Suomen hirvikantaa pidetään kurissa metsästyksellä. Hirvikantaa pyritään pitämään vakaana tiheyden ja ikärakenteensa puolesta metsästämällä valikoivasti vasoja ja täysikasvuisia yksilöitä.

Loiset varastavat ravintoa isänniltään

Loissuhde on kahden lajin välinen suhde, jossa toinen laji (loinen) elää toisen lajin (isännän) kustannuksella. Tyypillistä suhteelle on se, että isäntä ei kuole – ainakaan heti – vaan loinen ehtii saamansa energian turvin lisääntyä ja tuottaa uuden sukupolven. Loiset voivat elää isäntänsä pinnalla tai sisällä, ja isäntänä voi olla mikä tahansa eliö, siis jopa bakteeri. Huomattava osa loisista on mikrobeja, kuten viruksia, bakteereja, alkueliöitä tai sieniä. Selkärankaisten suolistoissa voi elää joukko matoja ja muita suolistoloisia. Myös huomattava osa hyönteisistä on loisia, joiden isäntänä on jokin toinen hyönteislaji. Loisen ja isännän kannat vaihtelevat samaan tapaan kuin peto-saalissuhteessakin; loinen vastaa petoa ja isäntä saalista. Loisten määrä on suurin ja leviäminen tehokkainta, kun isäntälajin kanta on tiheä.

Mäntykukka on välillisesti männyn loinen, koska se ottaa ravintonsa männyn juurten kanssa kiinteässä yhteydessä kasvavista sienirihmastoista.

Yhdessä eläminen voi olla monella tavalla edullista

Symbioosi on yleisesti käytetty käsite, joka tarkoittaa lajien elämistä kiinteässä vuorovaikutuksessa toinen toisensa kanssa jopa niin, että toinen elää toisen sisällä, kuten jäkälässä olevat sieni ja levä tai hernekasvit ja niiden juurinystyissä elävät typensitojabakteerit. Jos molemmat osapuolet hyötyvät yhteiselosta, kuvataan suhdetta sanalla mutualismi. Mutualismi voi olla ehdollista, jolloin lajit voivat elää itsenäisestikin. Joissakin tapauksissa se on kuitenkin ehdotonta, jolloin se on jommankumman tai molempien elinehto.

Mutualistiset lajien väliset suhteet ovat hyvin tavallisia. Esimerkiksi trooppisissa sademetsissä on paljon kasvien ja niitä pölyttävien eläinten välisiä suhteita, jotka ovat kummallekin osapuolelle välttämättömiä. Lämpimien merien koralleissa puolestaan elää yhteyttäviä leviä, jotka tuottavat ravintoa korallieläimelle. Hyvä esimerkki ehdottomasta mutualismista on vaikkapa kasvinsyöjänisäkkään ja sen ruoansulatuskanavassa asustavien bakteerien välinen suhde. Nisäkkään omat entsyymit eivät hajota selluloosaa, mutta bakteerit hajottavat ja saavat isännältään siitä palkaksi hyvän elinympäristön.

Joskus yhteiselosta on hyötyä vain toiselle osapuolelle. Hyötyvää osapuolta kutsutaan toisen pöytävieraaksi. Se on isäntälajin kannalta harmiton tai yhdentekevä laji, joka elää tämän siivellä esimerkiksi käyttämällä tältä yli jäänyttä ravintoa tai saamalla tältä suojaa. Ihmisasutuksen piirissä elävät kotihiiret ja lokit vierailevat sananmukaisestikin ihmisen ruokapöydässä. Monet haaskansyöjät ovat petojen pöytävieraita ja syövät näiltä tähteiksi jääneet saaliseläimen rippeet.

Lokit ovat ihmisen pöytävieraita silloin, kun ne hyödyntävät syötäväksi kelpaavaa jätettä. Kaupunkiympäristössä lokit parantavat elinmahdollisuuksiaan olemalla rohkeita ja röyhkeitä. Luonnossa niiden sen sijaan kannattaa olla varovaisia, koska liiallinen rohkeus voi koitua turmioksi. Näin luonnonvalinta suosii erilaisissa ympäristöissä erilaista käyttäytymistä.

Hajottajat hyödyntävät kuolleita eliöitä

Osa eliöistä on erikoistunut hankkimaan tarvitsemansa energian hajottamalla kuolleita eliöitä. Nämä luonnossa hajottajina toimivat eliöt muodostavat sekalaisen joukon, johon kuuluu hyvin erilaisia lajeja. Siihen kuuluu raatoja syöviä nisäkkäitä ja lintuja ja erityisen paljon selkärangattomia, kuten kovakuoriaisia ja kaksisiipisiä hyönteisiä, jotka voivat olla toukkia tai aikuisia. Lopullisen työn ja suurimman osan hajotuksesta tekevät pienet maaperäeliöt, kuten erilaiset madot, pieneliöt, bakteerit ja sienet. Hajottajien toiminnan ansiosta eloperäisessä aineessa olevat ravinteet palaavat epäorgaanisessa muodossa uudelleen kasvien käyttöön.

Karhulla voi olla eliöyhteisössään monta roolia. Haaskaa syödessään se osallistuu kuolleiden eläinten hyödyntämiseen eli kuuluu oikeastaan hajottajaeliöstöön. Syödessään muurahaisen munia tai tappaessaan hirven karhu on peto. Marjoilla herkutellessaan se taas on kasvinsyöjä. Kun karhu käy tyhjentämässä mehiläisten hunajavaraston, se on mehiläisten loinen.

Monet sienet ovat tärkeitä maahan kaatuneiden puiden hajottajia. Mesisieni ja taulakääpä ovat esimerkkejä lajeista, joka aloittavat elämäntyönsä kasvavien puiden loisina mutta päättävät sen hajottajina.

Yhteenveto kahden lajin (A ja B) mahdollisista vuorovaikutuksista

vuorovaikutus	erillään A	erillään B	yhdessä A	yhdessä B	esim.
neutraali	0	0	0	0	västäräkki, hirvi
kilpailu	0	0	-	-	minkki, vesikko
peto-saalissuhde	0 (saalis)	- (peto)	-	+	jänis, ilves
loissuhde	0 (isäntä)	- (loinen)	-	+	ihminen, heisimato
mutualismi (ehdollinen)	0	0	+	+	mustikka, kimalainen
mutualismi (ehdoton)	-	-	+	+	sieni, levä (jäkälässä)
pöytävierassuhde	0	-	0	+	ihminen, kotihiiri

0 = ei vaikutusta, - = epäedullinen, + = hyödyttävä Vaikutus näkyy populaatioiden tiheyden muutoksina.

Usein käytetään myös käsitettä symbioosi. Sillä tarkoitetaan, että kaksi lajia elää kiinteästi toistensa yhteydessä. Symbioosi on mutualismia niissä tapauksissa, joissa molempien yhdessä elävien lajien populaatiot hyötyvät siitä.

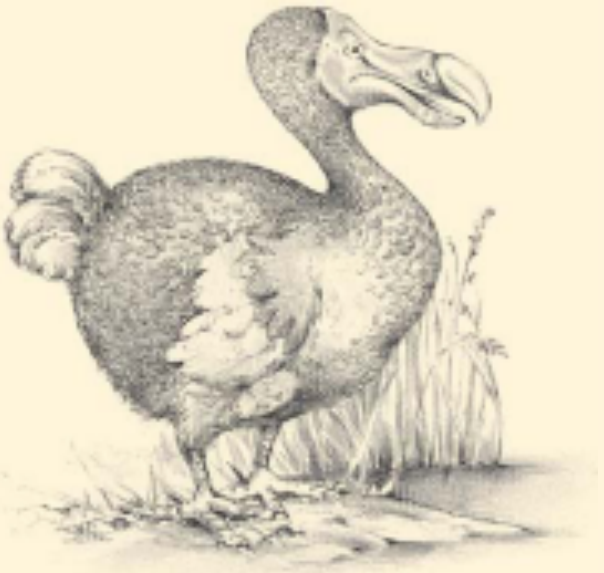
Lajit kehittyvät keskinäisessä vuorovaikutuksessa

Lajit kehittyvät ja sopeutuvat ympäristöönsä ollen riippuvaisia toinen toisistaan. Siksi yhdessä lajissa tapahtuvat muutokset vaikuttavat myös toisiin lajeihin: esimerkiksi monien kasvien ja niitä pölyttävien hyönteisten evoluutio on tapahtunut kiinteässä vuorovaikutuksessa, mikä on parantanut molempien lajien elinmahdollisuuksia. Ilmiötä sanotaan rinnakkais- eli koevoluutioksi.

Monille kasveille on kehittynyt ominaisuus tuottaa pahalta maistuvia tai myrkyllisiä aineita tai piikkisiä rakenteita, jonka avulla kasvit puolustautuvat kasvinsyöjiä vastaan. Kasvinsyöjille on puolestaan kehittynyt kyky hajottaa kasvien myrkkyjä. Toisaalta monet kasvit tuottavat värikkäitä ja meheviä hedelmiä, jotka ovat kuin mainoksia, joiden tarkoituksena on houkutella eläimiä syömään hedelmiä ja samalla kuljettamaan kasvien siemeniä uusille kasvupaikoille.

Myös saaliseläinten ja petojen sekä isäntien ja loisten väliset suhteet ovat kehittyneet samanaikaisen, rinnakkaisen evoluution tuloksena. Pedoille on vähitellen kehittynyt ominaisuuksia, jotka tekevät niistä tehokkaampia saalistajia, ja samanaikaisesti saalislajeissa on kehittynyt ominaisuuksia, jotka vähentävät niiden riskiä joutua saaliiksi. Kehitys on siis eräänlaista kilpavarustelua. Loiset taas ovat kehittyneet ominaisuuksiltaan vähitellen sellaisiksi, että ne pystyvät varastamaan isännältään ravintoa siten, ettei isäntä kuole.

Niin kasvinsyöjille, pedoille kuin loisillekin on eduksi, etteivät ne kuluta saalis- tai isäntälajiensa kantaa loppuun. Esimerkiksi sudet tappavat saalistaessaan helpoiten kiinni otettavia yksilöitä, kuten esimerkiksi sairaita, ikääntyneitä tai muutoin huonokuntoisia hirviä ja suorittavat samalla eräänlaista valintaa. Hengissä selviytyvät hirvet ovat todennäköisesti ominaisuuksiltaan parempia kuin saaliiksi joutuneet, joten pedon vaikutuksesta saaliseläimen kanta on entistä sopeutuneempi.



Joskus rinnakkaisevoluutio voi johtaa liiankin erikoistuneisiin suhteisiin. Drontti oli vielä 1600-luvulla Mauritiuksen saarella elänyt lintu, joka kuoli ihmisen toiminnan takia sukupuuttoon. Saarella elää edelleen puulaji, jonka siemenet eivät ole drontin katoamisen jälkeen kuitenkaan itäneet, koska niiden itäminen edellyttäisi sitä, että siemenet kulkeutuisivat ensin drontin ruuansulatuskanavan läpi.

Useat orkideat ovat kehittyneet petkuttajiksi. Esimerkiksi kimalaisorho huijaa eräitä hyönteisiä kukkiensa ulkonäöllä ja tuoksulla siten, että parittelunhaluinen hyönteiskoiras yrittää paritella kukkien kanssa, koska se luulee niitä hyönteisnaaraiksi. Siirtyessään kukasta toiseen se samalla suorittaa pölytyksen.

TEHTÄVÄT

1. Käsitteet

Laadi käsitekartta lajien välisistä suhteista. Käytä seuraavia käsitteitä: eliöyhteisö, lajienvälinen kilpailu, loissuhde, mutualismi, pöytävierassuhde, saalistus, symbioosi, syrjäyttävä kilpailu, laidunnus.

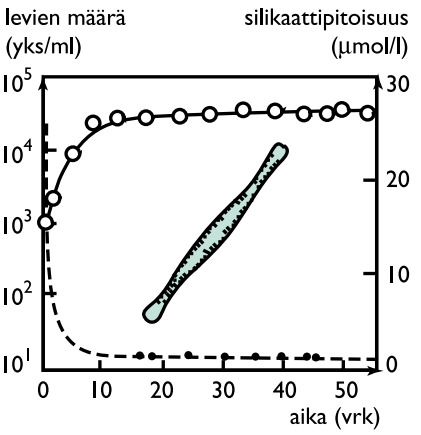
2. Hyötyä pedoista?

Miksi ja millä tavoin petopopulaatio on saalispopulaation kannalta tarpeellinen?

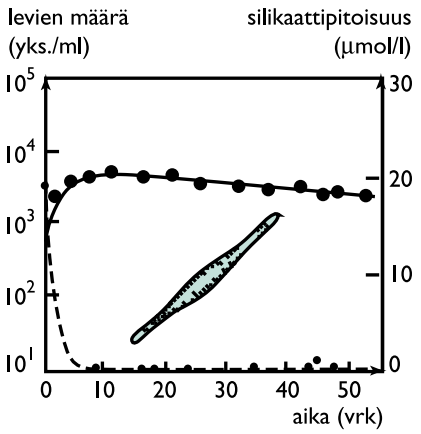
3. Piilevien kasvatusta

Asterionella ja Synedra ovat mikroskooppisen pieniä, kasviplanktoniin kuuluvia piileviä. Kuva 1 esittää Asterionellan ja kuva 2. Synedran populaation kasvua sekä silikaatin (piiyhdiste) määrää erillisissä kasvatuskokeissa. Kuva 3 esittää lajien kasvatusta yhdessä.

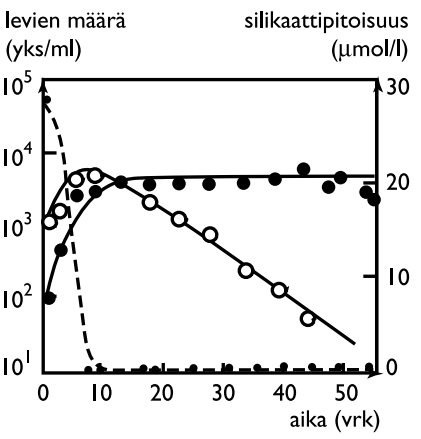
a. Selitä käyrien muotoa kuvissa 1 ja 2.
b. Mikä tekijä rajoittaa populaatioiden kasvua?
c. Miten populaatiot käyttäytyvät kuvan 3 kasvatuskokeessa ja miksi?



Kuva 1.



Kuva 2.



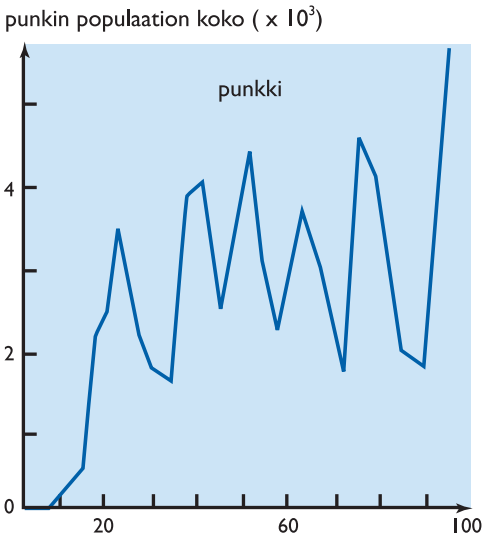
Kuva 3.

Asterionella
Synedra
silikaatti

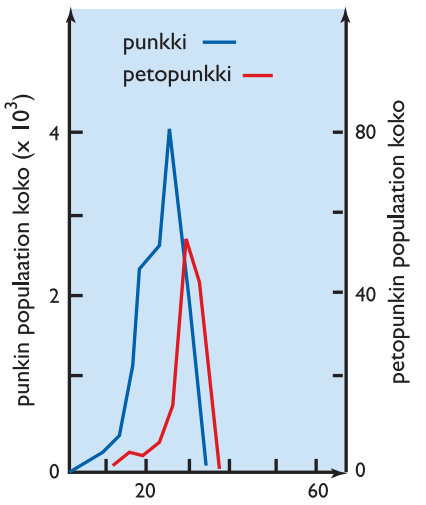
4. Punkki ja petopunkki

Käyrät kuvaavat erään punkin ja sitä saalistavan petopunkin populaatioiden kasvua.

a. Tutki kuvaa A. Punkki elää yksin ilman petoa. Miten populaation koko vaihtelee ja miksi?
b. Tutki kuvaa B. Punkki ja petopunkki elävät yhdessä yksinkertaisessa ympäristössä, missä ei ole piilopaikkoja. Selitä, mitä populaatioille tapahtuu ja miksi.
c. Tutki kuvaa C. Punkki ja petopunkki elävät nyt monimuotoisessa ympäristössä, missä on runsaasti piilopaikkoja molemmille lajeille. Miksi kuvan käyrät ovat erilaiset verrattuna kuvaan B? Selitä syyt populaatioiden koon vaihteluihin.



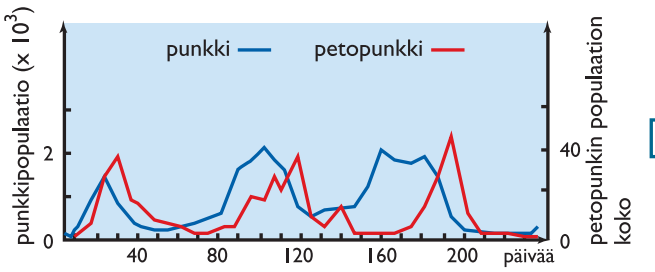
Kuva A.



petopunkki

Kuva B.

punkki



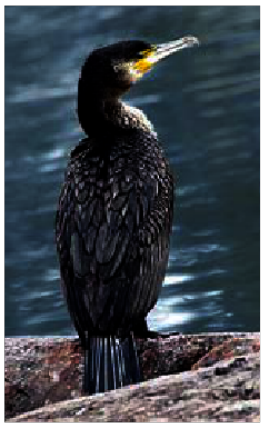
Kuva C.

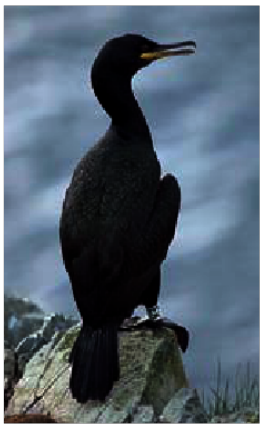
5. Meri- ja karimetsojen populaatiot

yo k-00

Merimetso (vas.) ja karimetso ovat lähisukuisia merilintuja, jotka elävät muun muassa Skotlannin rannikolla paikoin samoilla alueilla ja saalistavat samoilla vesillä. Oheisessa taulukossa on esitetty meri- ja karimetson ravinnon koostumus ko. alueella (saaliseläimiä prosentteina koko saaliista).

a. Piirrä taulukon luvuista havainnollinen diagrammi.
b. Mitkä rakennepiirteet viittaavat siihen, että nämä linnut saalistavat sukeltamalla?
c. Millainen ekologinen suhde lintulajien välillä on?
d. Jos sillikalat kalastettaisiin alueelta loppuun, millaisia muutoksia meri- ja karimetsopopulaatioissa voisi tapahtua?





	tuulen-kalat	silli-kalat	kam-pelat	äyri-äiset	tokot	muut kalat
Merimetso	0	1	26	33	17	23
Karimetso	33	49	1	2	4	11

6. Lajien väliset suhteet

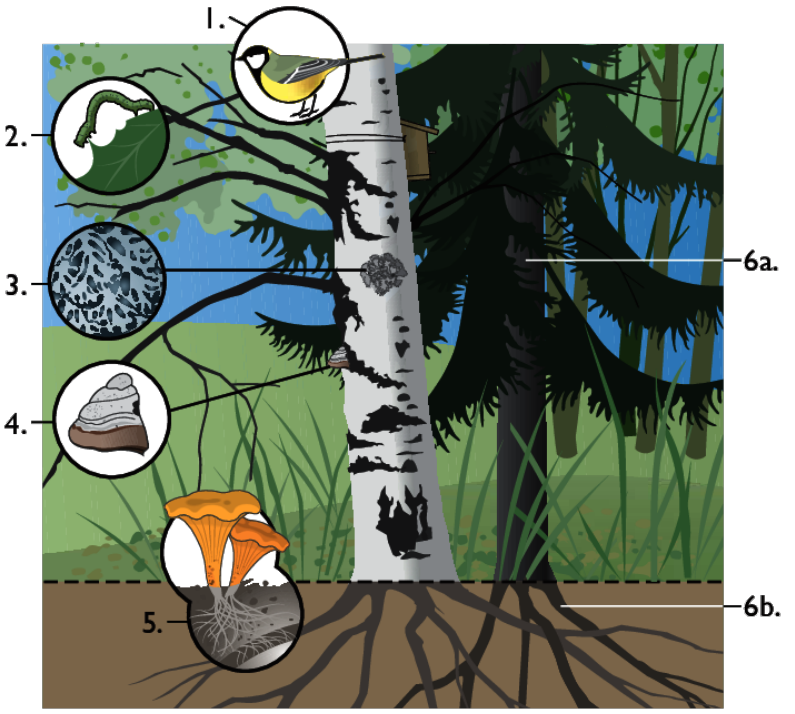
Millainen ekologinen suhde vallitsee seuraavien lajien kesken niiden eläessä samalla alueella? Mitä seurauksia voisi alleviivattujen lajien häviämisestä olla toiselle osapuolelle?

a. hirvi – susi,
b. jokirapu – täplärapu,
c. mänty – sen rungolla elävä jäkälä,
d. hömötiainen – töyhtötiainen.

7. Lajien välinen suhde

yo k-06

Millainen lajienvälinen suhde vallitsee kunkin numeroidun lajin ja koivun välillä?



Yhteenveto

Alueen eliöt muodostavat eliöyhteisön, jossa lajien välillä vallitsee erilaisia vuorovaikutussuhteita.

Samoja ympäristön resursseja hyödyntävät eliöt kilpailevat keskenään, jos resursseista on pulaa.

Kilpailua ilmenee sekä lajin sisällä että eri lajien välillä.

Kilpailu johtaa joko elintapojen erikoistumiseen tai periytyviin rakenteellisiin muutoksiin.

Erilaisia saalistuksen muotoja ovat laidunnus, peto-saalissuhde sekä loisiminen.

Mutualismi on yhteiseloa, josta hyötyy kumpikin osapuoli.

Hajottajaeliöt elävät käyttämällä ravinnokseen kuolleita eliöitä.

Lajien välinen vuorovaikutus ohjaa niiden evoluutiota.

Avainsanat

eliöyhteisö
hajottaja
laidunnus
lajienvälinen kilpailu
loinen
mutualismi
peto–saalis -suhde
pöytävierassuhde
rinnakkaisevoluutio
saalistus
symbioosi
syrjäyttävä kilpailu

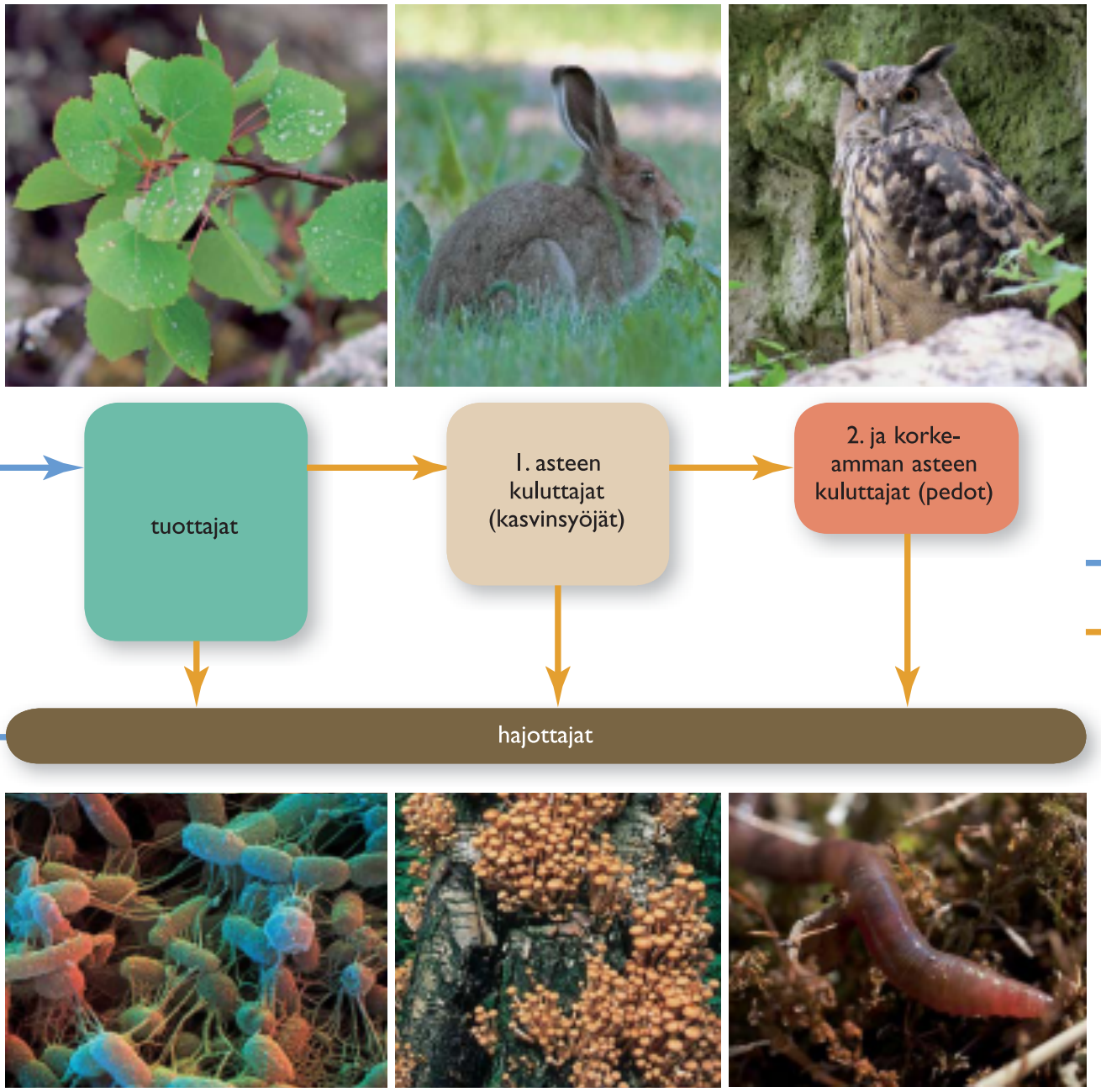
14.

Ekosysteemi on toimiva kokonaisuus

Metsien, järvien, kosteikkojen ja koko biosfäärin elämä on jatkunut auringon energian ylläpitämänä jo miljoonia vuosia. Mihin tämä perustuu? Voisiko myös hyvä akvaario tai kuplan sisään rakennettu luonto eliöyhteisöineen toimia ongelmitta ilman ihmisen avustusta?

Eliöyhteisö ja sen eloton ympäristö muodostavat ekosysteemin

Ekosysteemiksi kutsutaan kokonaisuutta, johon kuuluu eliöiden muodostaman eliöyhteisön lisäksi myös sen kanssa vuorovaikutuksessa oleva eloton ympäristö. Esimerkiksi metsä, järvi, suo ja pelto ovat ekosysteemejä. Laajin tuntemamme ekosysteemi on maapallon biosfääri. Ekosysteemi on täynnä erilaisia vuorovaikutuksia niin elollisen ja elottoman luonnon sisällä kuin välilläkin. Jos sanonta ”luonnossa kaikki vaikuttaa kaikkeen” ei aivan pitäisikään paikkaansa, voidaan kuitenkin väittää, että ”luonnossa kaikki vaikuttaa johonkin”. Ekosysteemi on tästä syystä ekologian keskeisimpiä käsitteitä. Sen

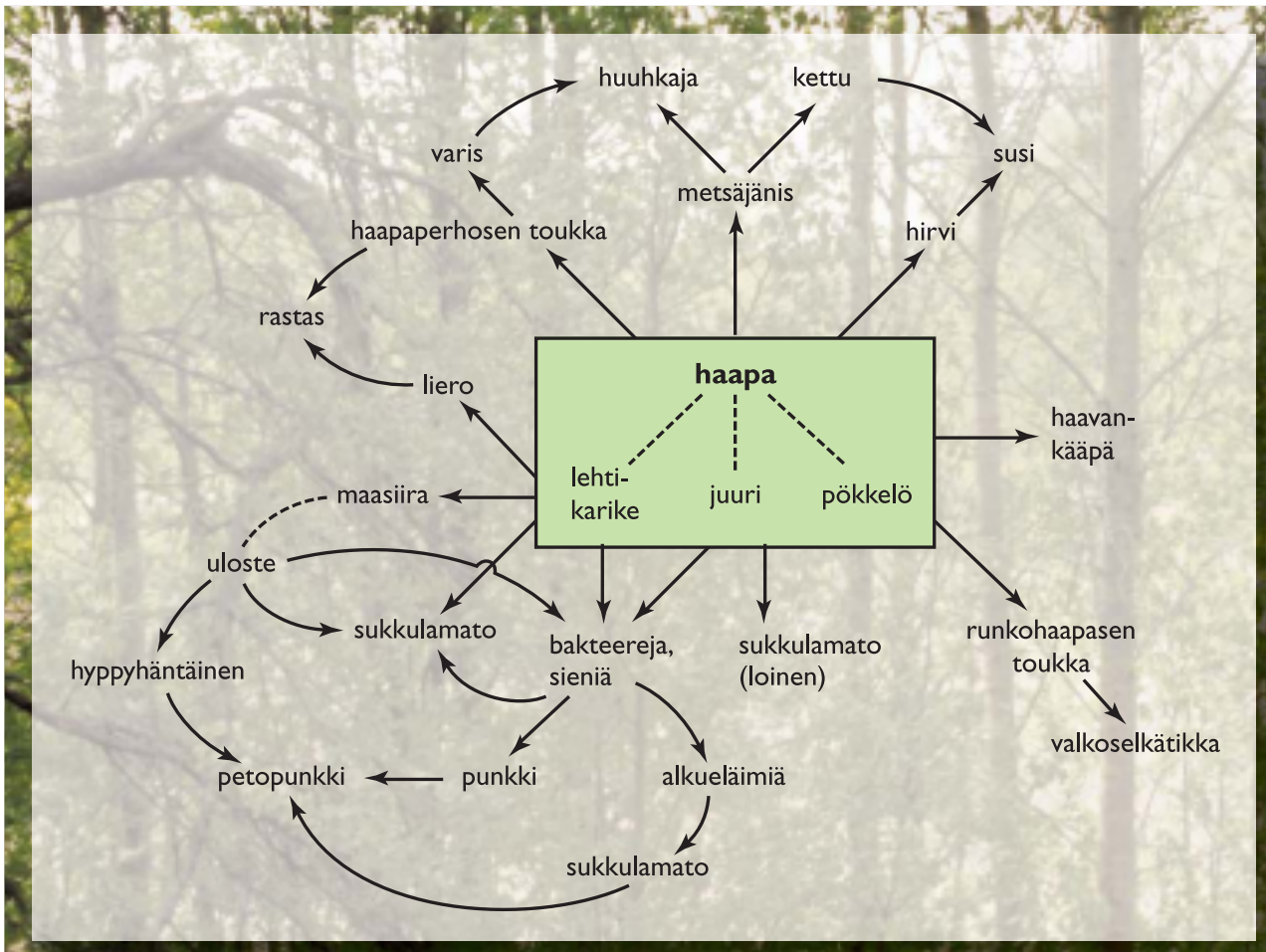


Ravintoketjun ensimmäinen lenkki on tuottaja, kuten vihreä kasvi tai levä, ja seuraavat lenkit ovat kuluttajia. Kasvinsyöjät ovat ensimmäisen asteen ja muut eläimet toisen tai kolmannen asteen kuluttajia. Kaikki eliöt kuolevat aikanaan ja joutuvat hajottajien ravinnoksi. Hajottajat muodostavat ketjun viimeisen lenkin. Ne palauttavat kuolleissa eliöissä olevat epäorgaaniset ravinteet eli kivennäisaineet uudelleen tuottajien käyttöön.

avulla on kätevää tarkastella luontoa järjestelmänä: mikäli siihen kohdistuu jokin vaikutus tai muutos, siitä seuraa tietty reaktio. Kun tunnetaan ekosysteemien toimintaa, voidaan ennustaa esimerkiksi ihmisen toiminnan aikaansaamia vaikutuksia.

Ekosysteemien eliöt voidaan jakaa energian saannin perusteella omavaraisiin eli autotrofeihin ja toisenvaraisiin eli heterotrofeihin eliöihin. Omavaraisia ovat lähinnä vihreät kasvit ja levät, koska ne saavat energiansa auringosta yhteyttämällä ja rakentavat yhteyttämisen avulla elottomista (epäorgaanisista) yhdisteistä elollisia (orgaanisia). Siksi yhteyttäviä kasveja ja leviä sanotaan myös tuottajiksi. Toisenvaraisia eliöitä ovat kasvinsyöjät, pedot, loiset ja erilaiset hajottajat eli kaikki muut kuin omavaraiset eliöt. Ne saavat energiansa syömällä eliöissä olevaa orgaanista ainesta eli biomassaa. Elävää ainesta ravintonaan käyttävät ovat kuluttajia ja kuollutta ainesta ja ulosteita käyttävät eliöt ovat hajottajia.

Koska eliöt syövät toisiaan, niistä muodostuu ravintoketjuja. Ravintoketjuista muodostuu edelleen ravintoverkkoja, joissa nuolen suunnalla kuvataan ravinnossa olevien aineiden ja energian kulkua eliöstä toiseen.



Haapa on metsäekosysteemin tärkeä tuottaja, sillä sen varassa elää useita ravintoketjuja. Ravintoketjut muodostavat ravintoverkon, josta kuvassa on osa. Lajeilla on erilaisia rooleja ravintoverkossa. Haapa on tuottaja, jonka varassa ravintoverkko elää. Mitkä eliöistä ovat kasvinsyöjiä ja mitkä petoja? Mitkä lajeista osallistuvat hajotustoimintaan?

Myös kuolleiden eliöiden muodostama aines eli detritus sisältää runsaasti käyttökelpoista energiaa. Esimerkiksi luonnontilaisissa havumetsissä jopa 90 prosenttia kasvien tuotannosta voi muuttua karikkeeksi ja muuksi maatuvaksi aineeksi. Tämä ylläpitää useita hajottajaravintoketjuja, joiden lenkkeinä on erityisesti vanhoissa metsissä monia uhanalaisiksi luokiteltavia lajeja.

Monilajisissa eliöyhteisöissä on useita, toistensa kanssa risteäviä ravintoketjuja, jotka muodostavat monimutkaisiakin ravintoverkkoja. Niissä yhden lajin poistuminen ei välttämättä romahduta kyseisen lajin varassa elävien lajien määrää, koska lajit voivat usein korvata puuttuvan ravinnonlähteen toisella. Tämän takia monimuotoiset ekosysteemit ovat usein vakaampia lajistoltaan köyhempiin verrattuna. Esimerkiksi havumetsävyöhykkeen ravintoverkot ovat vakaampia kuin arktisen tundran ravintoverkot, jotka ovat yksinkertaisempia ja siksi haavoittuvia.

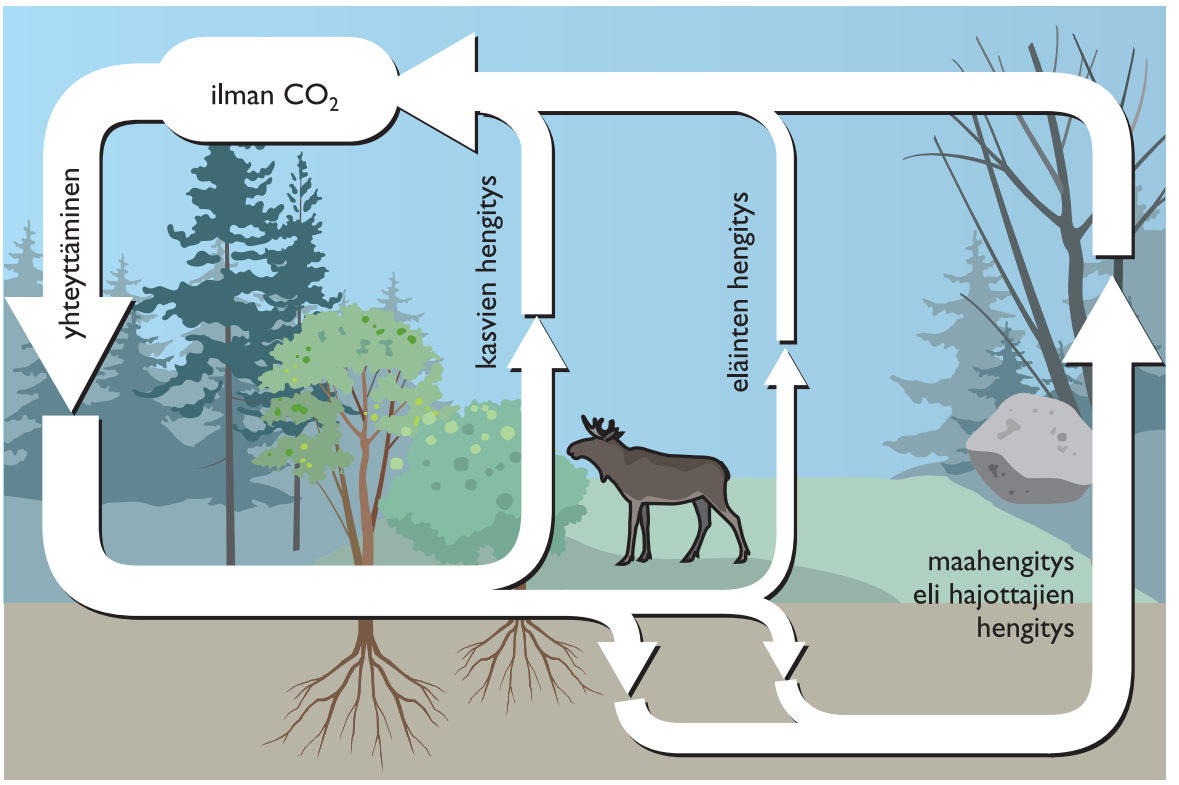
Aineet kiertävät ekosysteemissä

Eliöissä olevat aineet ovat peräisin ympäristöstä. Kasvit ottavat niitä juurillaan maasta ja lehdillään ilmasta ja rakentavat niistä erilaisia orgaanisia yhdisteitä. Eläimet saavat aineet ravinnostaan. Eliöissä oleva aine eli biomassa koostuu noin 20 eri alkuaineesta. Eniten eliöissä on hiiltä, vetyä, happea, typpeä, fosforia, rikkiä, natriumia, kaliumia, klooria ja magnesiumia, joista on rakentunut erilaisia yhdisteitä.

Suurin osa biomassasta on vettä ja hiiliyhdisteitä. Epäorgaanista hiiltä sitoutuu biomassaan kasvien yhteyttäessä sitä hiilidioksidina ilmakehästä. Syntyvät orgaaniset hiiliyhdisteet, kuten sokerit, selluloosa ja muut hiilihydraatit, sekä proteiinit ja rasvat sisältävät energiaa. Orgaaniset yhdisteet palavat hitaasti eliöiden hengityksessä ravintoketjun jokaisessa vaiheessa ja lopullisesti ne hajoavat takaisin epäorgaanisiksi yhdisteiksi hajottajien käytettyä niissä olevan energian loppuun. Maaperässä tai kompostissa toimivat hajottajaeliöt käyttävät hyväkseen kuolleessa eloperäisessä aineessa olevaa energiaa ja kivennäisaineita. Aineessa olevat hiiliyhdisteet palavat hitaasti hajottajien hengitysreaktioissa. Syntynyt hiilidioksidi poistuu vähitellen maahengityksenä, ja energia lämpönä. Kun kaikki eloperäinen aines on palanut, epäorgaaniset aineet jäävät maahan tai kompostissa syntyvään multaan. Hiili vapautuu hiilidioksina joko ilmaan tai veteen, josta kasvit jälleen ottavat sitä yhteyttäessään. Näin hiili kiertää ekosysteemissä tuottajien ja kuluttajien välillä.

Tärkeimpiä maasta otettavia aineita eli niin sanottuja perusravinteita ovat typpi, fosfori ja kalium, joiden niukkuus rajoittaa monin paikoin kasvien kasvua. Eliöiden kuoltua maaperän hajottajat muuttavat orgaaniset yhdisteet takaisin epäorgaaniseen muotoon ja palauttavat siten ravinteet uudelleen maahan kasvien käyttöön. Näin ravinteet voivat kiertää ekosysteemissä loputtomasti, mutta toisaalta ne voivat myös siirtyä ekosysteemistä toiseen huuhtoutuessaan pinta- tai pohjavesiin.

Viljapelto on ekosysteemi, jossa ravinteiden kierto on useimmiten avoin. Sadon mukana ravinteita poistuu runsaasti, ja ne korvataan keinolannoitteilla. Vilja on tavallisesti ihmisten tai karjan ravintoa. Etenkään ihmisten ulosteiden sisältämät ravinteet (typpi ja fosfori) eivät kuitenkaan palaudu peltoon vaan niitä joutuu, mahdollisesta puhdistuksesta huolimatta, vesistöihin, missä ne aiheuttavat rehevöitymistä ja pilaantumista. Pellon ravinnekierto olisi suljettu, jos kaikki siitä otetut ravinteet palautettaisiin pelloille.



Yhteyttäminen ja hengitys ovat hiiltä kierrättäviä biologisia prosesseja. Kummankin nopeus vaihtelee vuoden- ja vuorokaudenaikojen mukaan, mutta pitkällä aikavälillä ne ovat yleensä tasapainossa.

Energia virtaa ekosysteemin läpi

Maapallon ekosysteemien tärkein energian lähde on auringonvalo, jonka avulla tuottajat yhteyttävät ja josta myös kuluttajat ja hajottajat saavat välillisesti energiansa. Valtamerten pohjassa, täydellisessä pimeydessä, on suurta merkitystä myös kemosynteesillä, jossa tuottajat saavat energiansa maan sisäisen kuumuuden synnyttämistä epäorgaanisista yhdisteistä. Valon avulla tapahtuvaa yhteyttämistä eli fotosynteesiä kuvaa reaktioyhtälö:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{valo-energiaa} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

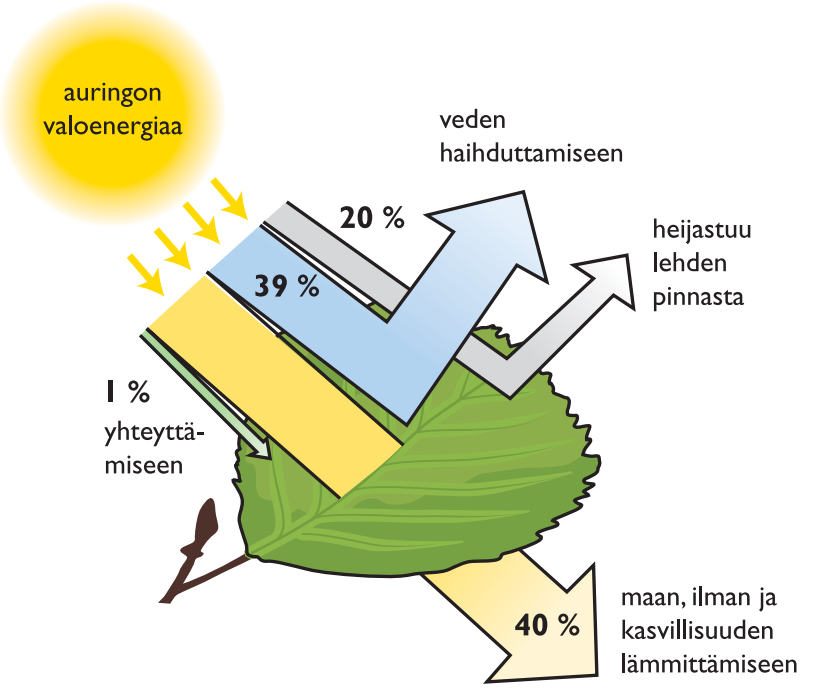
hiilidioksidi, vesi, glukoosi, happi

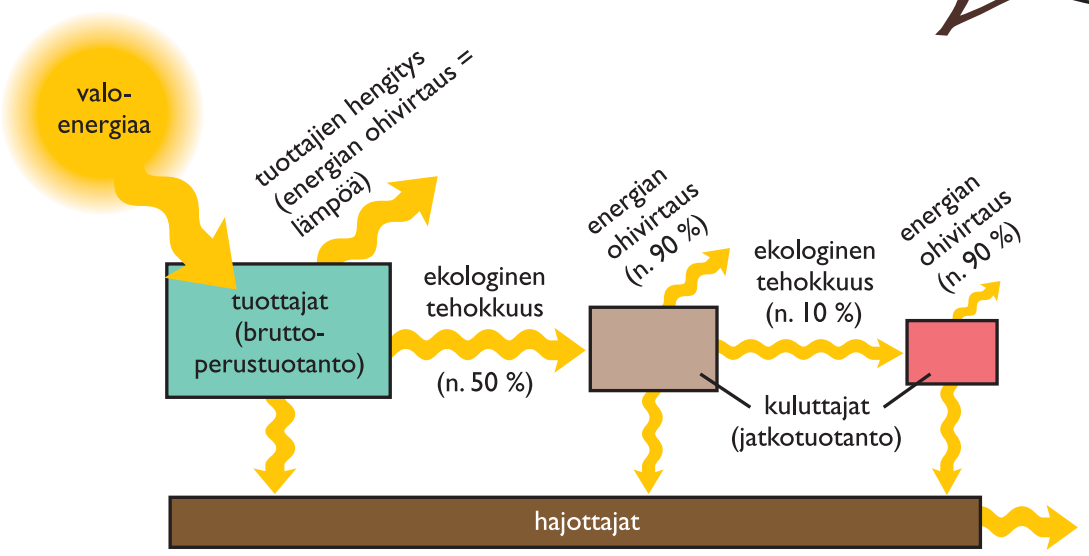
Toisin kuin ravinteet, glukoosiin sitoutunut energia on kertakäyttöistä, sillä se ei kierrä vaan ainoastaan virtaa ekosysteemin läpi. Ravintoketjun jokaisessa lenkissä osa energiasta muuttaa muotoa ja poistuu lämpönä. Energian kulkua ekosysteemissä kuvataan tavallisesti käsitteillä: perustuotanto, jatkotuotanto, ekologinen tehokkuus sekä energian ohivirtaus.

Ekosysteemin tuottajien muodostama biomassa edustaa perustuotantoa. Kasvit sitovat valoenergiaa glukoosin sisältämäksi kemialliseksi energiaksi ja näin muodostuu orgaanista ainetta eli biomassaa. Tapahtuma sitoo hiilidioksidia ja vapauttaa happea. Kasvillisuudessa oleva biomassa ei kuitenkaan käsitä kasvien koko tuotantoa, koska kasvit käyttävät osan tuotannosta omaan hengitykseensä. Kuluttajien käytettävissä olevaa kasvien tuottamaa biomassaa sanotaan nettoperustuotannoksi ja kun siihen lisätään kasvien omiin elintoimintoihin eli hengitykseen käyttämä energia, saadaan selville bruttoperustuotannon määrä.

Hengitys on yhteyttämiselle käänteinen tapahtuma, jossa orgaaniseen aineeseen sitoutunut energia vapautuu eliön käyttöön, kuten kasvuun ja lisääntymiseen. Hengityksessä kuluu happea ja vapautuu hiilidioksidia, minkä voi todeta mittauslaitteilla pimeässä, kun kasvit eivät yhteytä. Kun valoa on tarpeeksi, yhteyttämisessä sitoutuu paljon enemmän energiaa kuin tarvitaan kasvin hengityksessä, joten kasveihin kertyy energiapitoisia yhdisteitä biomassana.

Yleensä kasvit eivät ole kovin tehokkaita hyödyntämään auringon energiaa. Ne käyttävät yhteyttämiseen vain noin prosentin saamastaan auringon energiasta. Osa valosta on aallonpituudeltaan vääränlaista, osa heijastuu kasveista pois, osa läpäisee lehdet ja osa muuttuu lämmöksi. Kasvillisuuteen sitoutuva energia eli nettoperustuotanto on puolestaan määrältään suunnilleen puolet (vaihteluväli 40–85 %) bruttope-





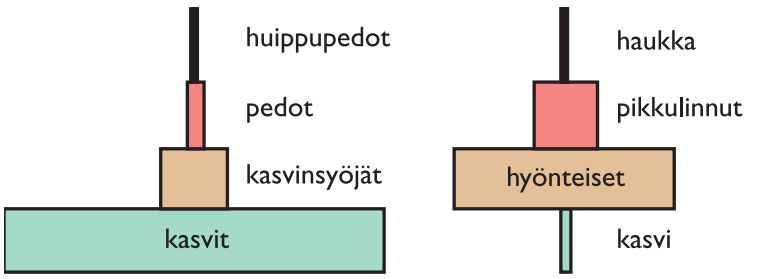
Perustuotannossa yhteyttävät kasvit ja levät sitovat auringon energiaa orgaanisiin yhdisteisiin. Ekosysteemin kuluttajien muodostama biomassa on puolestaan jatkotuotantoa.

rustuotannosta. Toinen puoli tarvitaan siis kasvien omien elintoimintojen ylläpitämiseen. Tehokkainta perustuotanto on kasvien nopeimmassa kasvuvaiheessa ja siksi esimerkiksi energiantuotantoon tarkoitettujen pajujen sato kannattaakin korjata talteen heti niiden kasvupyrähdyksen jälkeen.

Jatkotuotanto on ekosysteemin kuluttajien tuottamaa biomassaa, sillä kuluttajat eivät varsinaisesti tuota biomassaa itse vaan ainoastaan muuntavat syömäänsä, kasvien tuottamaa biomassaa aineenvaihdunnassaan. Suurin osa siitä tapahtuu ensimmäisen asteen kuluttajien, pienempi osa toisen ja kolmannen asteen kuluttajien biomassan kasvuna.

Ekologiseksi tehokkuudeksi sanotaan hyötysuhdetta, jolla ekosysteemin eliöt tuottavat biomassaa syömästään ravinnosta. Kasveilla ekologinen tehokkuus on sama kuin nettotuotannon osuus bruttotuotannosta eli keskimäärin 50 prosenttia. Eläinten biomassan kasvu on niiden syömän ravinnon määrään verrattuna puolestaan hyvin pientä, koska eläimet tarvitsevat runsaasti energiaa omiin elintoimintoihinsa, etenkin liikkumiseen. Eläinten ekologinen tehokkuus onkin keskimäärin vain kymmenen prosentin luokkaa. Se on suurimmillaan niiden nopeimman kasvun aikana nuoruusvaiheessa ja pienenee kasvun hidastuessa iän myötä. Ekologinen tehokkuus siis ilmaisee, kuinka suuri osa syödystä energiasta siirtyy seuraavan kuluttajaportaan käytettäväksi. Jos 10 prosenttia energiasta siirtyy ravintoketjussa eteenpäin, vastaavasti 90 prosenttia joutuu hukkaan. Poistuvaa energiaa sanotaan ohivirtaavaksi energiaksi.

Ellei hajottajia oteta huomioon, ravintoketjuihin kuuluu yleensä kolmesta neljään lenkkiä: tuottaja ja kaksi tai kolme kuluttajaa, esimerkiksi: salaatti – etana – mustarastas – varpushaukka. Lenkkejä on vain harvoin viisi tai enemmän, koska tuottajien sitoma energia ei riitä ohivirtauksen takia tyydyttämään viidennen lenkin energian tarvetta.



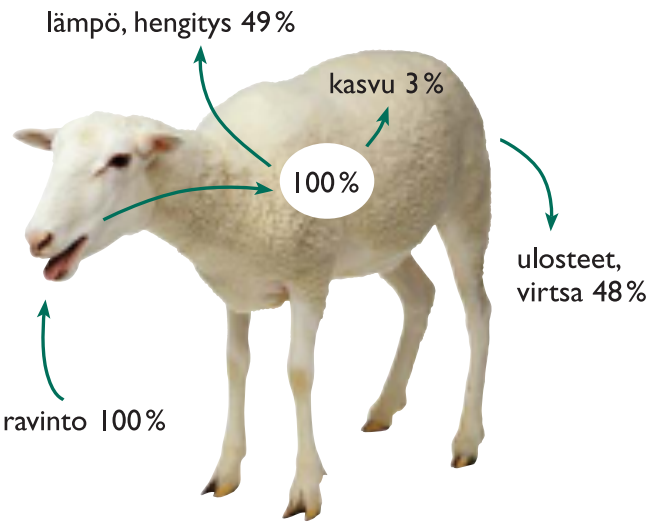
tuotantopyramidi (energiapyramidi)

Tuotanto- eli energiapyramidi on aina selvästi leveäkantainen, koska kukin portas pystyy siirtämään tuotannostaan vain osan seuraavan portaan käyttöön. Toisin sanoen portaan ekologinen tehokkuus ilmaisee seuraavan ylemmän portaan koon, joka on keskimäärin noin yksi kymmenesosa alemmasta.

yksilömääräpyramidi

Yksilömääräpyramidi voi olla kapeakantainen, jos esimerkiksi tuhannet hyönteistoukat syövät yhtä puuyksilöä tai suuressa isäntäeliössä on paljon pieniä loisia.

Eteläsuomalaisella pellolla perustuotantoon sitoutuu 1–2 prosenttia auringon säteilemästä energiasta. Nettoperustuotannon mittaamisessa voidaan käyttää sadonkorjuumenetelmää. Siinä yksinkertaisesti mitataan kasvukauden sato, mikä on esimerkiksi viljapellossa suunnilleen sama kuin versojen ja juurten yhteenlaskettu biomassa kasvukauden lopussa. Monivuotisessa kasvillisuudessa otetaan laskelmiin vain kasvukauden aikainen kasvu, eli kasvien biomassan lisäys.



Kuvan lampaan ekologinen tehokkuus on 3 prosenttia, koska ravinnosta tulevasta energiasta varastoituu sen verran kudoksiin. Loput 97 prosenttia on ohivirtaavaa energiaa. Koska vapaina liikkuvien eläinten ekologinen tehokkuus on varsin alhainen, on eläinten liikkuminen kaupallisessa kotieläintuotannossa usein pyritty estämään.

Biomassan ja energian jakautumista ekosysteemin osakkaiden kesken voidaan havainnollistaa ekologisten pyramidien avulla. Niiden kerrokset vastaavat ravintoketjujen lenkkejä siten, että pyramidin kanta kuvaa tuottajia, toinen kerros kasvinsyöjiä, kolmas niitä syöviä petoja ja niin edelleen. Kerroksia kutsutaan usein myös ravinto- eli trofiatasoiksi.

Ekosysteemeissä voi tapahtua suuriakin muutoksia

Esimerkiksi tulivuoren purkaus tai voimakas tulipalo saattaa tuhota ekosysteemin lähes kokonaan. Merenalaisen tulivuoren purkauksen tuloksena voi syntyä saari, joka on aluksi täysin eloton. Kuitenkin jo muutamien vuosien kuluessa eliöt valtaavat paljastuneen alueen. Alueella ilmenevää ekosysteemin lajikoostumuksen muuttumista sanotaan ekologiseksi sukkessioksi.

Esimerkkejä kotoisista sukkessioista ovat vesistöjen umpeenkasvu, metsän soistuminen, paloaukean metsittyminen ja meren alta paljastuvan maan sukkessio. Joissakin tapauksissa lajiston muuttuminen johtuu kasvualustassa ja alueessa itsessään tapahtuvista geofysikaalisista muutoksista, esimerkiksi maan kohoamisesta. Joissakin tapauksissa erilaiset biologiset prosessit ja muuttuva lajisto muuttavat oloja. Esimerkkejä tällaisista biologisista prosesseista ovat soistuminen tai lehmänlantakasan hajoaminen.

Tuoreen kangasmetsän sukkessiossa abioottiset ja bioottiset ympäristötekijät muuttuvat

Luonnossa kulkiessa on helppo havaita selviä eroja etenkin metsien puulajikoostumuksessa. Osa eroista johtuu kasvupaikkojen välisistä eroista, mutta osa selittyy metsän iällä ja kehitysvaiheella eli metsän sukkessiolla. Ensisijaisesti on kysymys kasviyhdyskuntien ajallisesta muuttumisesta, mutta samanaikaisesti alueen eläimistö muuttuu ja mukautuu kasvillisuuden muutoksiin.

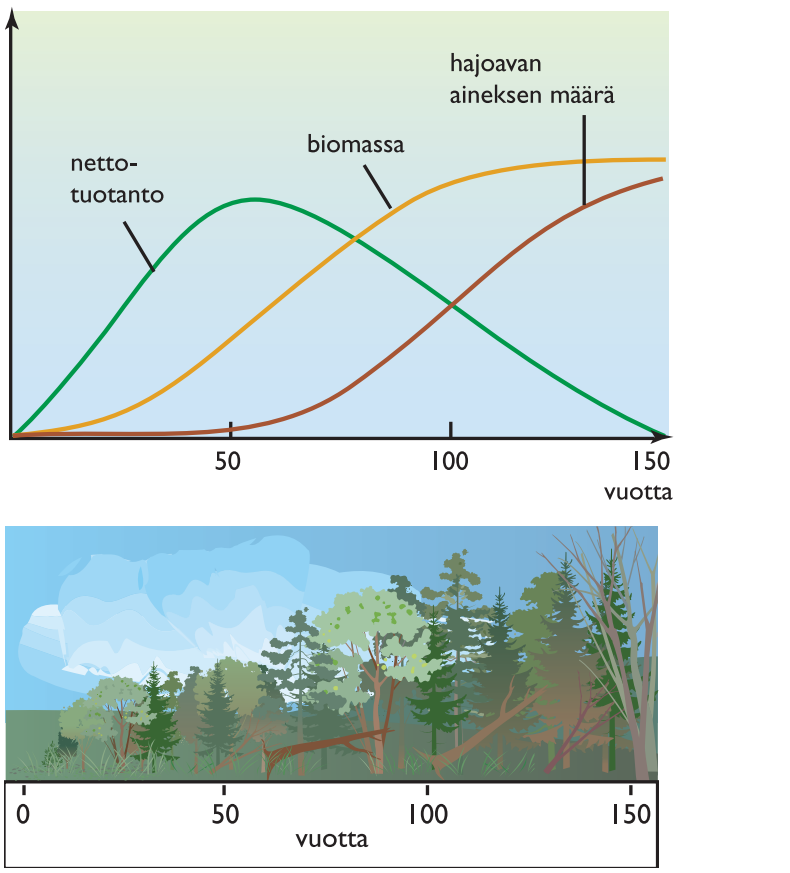
Merenalainen tulivuorenpurkaus Islannissa 1960-luvulla synnytti Surtseyn saaren. Saari on ollut syntymästään lähtien ekologisen tutkimuksen kohteena. Kasvillisuuden sekä eläin- ja sienilajiston sukkessiota seurataan tarkasti.

Metsän sukkession luontaisena syynä ovat ennen ihmisen vaikutusta olleet metsäpalot, jotka ovat toistuneet suunnilleen 50–200 vuoden välein. Myös myrskyt ovat usein kaataneet puita ja aiheuttaneet metsässä suuria muutoksia.

Heti palon jälkeen paikalla on runsaasti valoa ja vapaata tilaa. Maan pinnassa on myös runsaasti ravinteita, jotka ovat vapautuneet palamisen seurauksena aiemmin paikalla olleesta biomassasta. Paikan pienilmasto on luonteeltaan äärevä: päivisin voi olla hyvin lämmintä ja kuivaa ja yöllä puolestaan hyvin kylmää. Myös maaperän happamuus vähenee, jonka seurauksena ravinteiden liukeneminen tehostuu.

Ensimmäisinä paikalle ilmaantuvia lajeja kutsutaan pioneerilajeiksi. Saapumisjärjestys riippuu niiden leviämistehokkuudesta ja osin pelkästä sattumasta. Pioneerilajeille, kuten maitohorsmalle, on tyypillistä lisääntyä ja levittäytyä hyvin nopeasti ja siten vallata vapaita kasvupaikkoja. Ne saapuvat mutta myös häviävät nopeasti, sillä vaikka ne pärjäävät alussa nopeutensa ansiosta, ne ovat kasvillisuuden sulkeutuessa huonoja kilpailijoita. Kasvilajistoa luonnehtii ennen puiden ilmaantumista kenttäkerroksen kasvien runsas lajimäärä. Siihen kuuluu paljon yksivuotisia ruohoja ja heiniä sekä runsaasta valosta ja ravinteisuudesta hyötyviä lajeja. Pohjakerros on palon jälkeen aluksi hyvin niukka. Eläimistön valtalajeja ovat avointen paikkojen lajit, kuten kivitasku ja västäräkki sekä monet perhoset.

Vähitellen kasvillisuus alkaa sulkeutua eli vapaa, kilpailuton tila häviää. Kilpailun kiristyessä kenttäkerroksen lajimäärä vähenee. Myös lehtipuiden taimia ja pensaita alkaa ilmestyä kuloalueelle, mikä vähitellen muuttaa niiden suojassa elävien lajien olosuhteita, sillä kosteus- ja lämpöolot tasoittuvat kasvillisuuden suojassa. Puiden kasvu on nopeinta niiden ollessa



Metsän ikääntyessä sen nettotuotanto pienenee, mutta biomassan ja hajoavan puuaineksen määrä kasvaa.

nuoria, mikä merkitsee ekosysteemin biomassan nopeaa kasvua ja suurta nettotuotantoa. Samalla ravinteita sitoutuu biomassaan. Kariketta ei synny kovin paljon. Pohjakerrokseen ilmestyy kulo-, varsta- ja karhunsammalta. Eläimistössä lintujen laji- ja parimäärät ovat suurimmillaan metsän ollessa vielä melko nuori ja monilajinen. Jänis, monet pikkujyrsijät ja hirvi viihtyvät lehtipuuvaltaisissa nuorissa metsissä.

Metsän ikääntyessä puiden välinen kilpailu johtaa lehtipuiden osuuden vähenemiseen ja kuusen nousemiseen valtapuuasemaan. Vähitellen lisääntyy sellaisten lajien osuus, joiden selviytymisstrategia kovassa kilpailussa on toisenlainen kuin pioneereilla: yhä useammat menestyvistä lajeista ovat monivuotisia, hitaasti lisääntyviä ja hidaskasvuisia, mutta toisaalta hyviä kilpailijoita ja varjostusta sietäviä. Ne saapuvat hitaasti, mutta pysyvät pitkään. Tätä vaihetta kutsutaan kliimaksiksi.

Kliimaksivaiheen lajiston muodostavat parhaat kilpailijat. Kenttäkerroksen lajimäärä on pienempi kuin aiemmissa vaiheissa ja pohjakerroksessa on runsaasti sammalia. Vanhoja, kuolleita ja maatuvia puita on paljon, samoin niissä eläviä kääpiä ja selkärangattomia eläimiä sekä edelleen niitä syöviä isompia lajeja. Monet lahopuiden kolopesijät, kuten liito-orava ja valkoselkätikka, löytävät pesäpaikkoja ja ravintoa. Varjostuksen lisääntyessä kosteusolot tasoittuvat entisestään maan pinnan tuntumassa. Metsän biomassan määrä kasvaa, ja metsässä on yhä enemmän lahoavia pökkelöitä ja maahan kertyvää kariketta. Lahoavan aineksen kokonaismäärä kasvaa, ja metsän nettotuotanto eli kasvu pienenee.

Pohjoisissa havumetsissä tietty epävakaus on normaalia. Ilman laajoja metsäpalojakin kliimaksivaiheen saavuttanut metsäekosysteemi kokee jatkuvasti häiriöitä, sillä siellä täällä kaatuu vanha puu tai myrsky tekee metsään isomman aukon. Häiriöiden vaikutuksesta saavat alkunsa pienialaiset sukkessiot. Kosteat korpipainanteet taas ovat ehkä säilyneet metsäpaloilta hyvin kauan. Palamattomat kohdat ja monet häiriöistä johtuvat eri-ikäiset sukkessiolaikut voivat luoda metsästä vaihtelevan ja mosaiikkimaisen kokonaisuuden, mikä lisää metsän monimuotoisuutta ja rikastaa lajistoa.

TEHTÄVÄT

1. Käsitteitä

Määrittele oheiset käsiteparit:

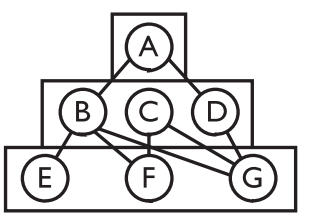
a. omavarainen – toisenvarainen
b. perustuotanto – jatkotuotanto
c. ekologinen tehokkuus – energian ohivirtaus
d. sukkessio – kliimaksi.

2. Terraario

yo s-01

Valaistussa terraariossa elää ekologisessa tasapainossa seitsemän lajia A, B, C, D, X, Y ja Z. Ne on sijoitettu oheiseen energiapyramidiin omille trofiatasoilleen. Lajeja yhdistävät viivat kuvaavat ravintoverkkoa.

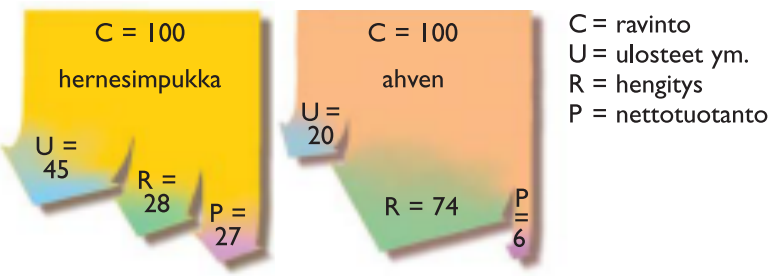
a. Mitä tapahtuu, jos lajin B kaikki yksilöt kuolevat?
b. Mitä tapahtuu, jos lajin A kaikki yksilöt kuolevat?
c. Mitä seuraa, jos valaistus lopetetaan?
d. Selitä, mitä esimerkkitapauksessa tarkoitetaan perustuotannolla ja energian ohivirtauksella.



3. Energiabudjetit

Kuvio esittää kahden elintavoiltaan erilaisen vesieläimen populaatioiden energiabudjetteja.

a. Miten lajien elintavat poikkeavat toisistaan?
b. Miksi hernesimpukka käyttää vähemmän energiaa?
c. Miksi ahvenen nettotuotanto on pienempi?



4. Paloalueen muuttuminen

Viereisen sivun kuvassa on juuri poltettua tuoretta kangasmetsää. Miten paloalue muuttuu sadassa vuodessa, jos sukkessio saa edetä normaalisti? Selitä eri vaiheet ja muutosten syyt. Missä vaiheessa a. perhosten, b. lintujen, c. kasvibiomassan ja d. lahottajien määrät ovat suurimmillaan? Perustele.

Yhteenveto

Ekosysteemi on toiminnallinen kokonaisuus, jonka muodostavat alueen eliöyhteisö ja sen kanssa vuorovaikutuksessa oleva eloton luonto.

Eliöt muodostavat ravintoketjuja ja -verkkoja, joissa aineet ja energia siirtyvät tuottajilta kuluttajille.

Kaikki eliöt ovat kuoltuaan ravintoa hajottajille, jotka palauttavat ravinteet uudelleen tuottajille.

Ekosysteemissä aineet kiertävät ja energia virtaa sen läpi.

Kasvien tuottama biomassa on ekosysteemin perustuotantoa.

Kuluttajien ravinnostaan muodostama biomassa on jatkotuotantoa. Energian ohivirtauksen takia jatkotuotanto on vain pieni osa perustuotannon määrästä.

Ekologinen tehokkuus ilmaisee, kuinka suuri osa tuotannosta siirtyy ravintoketjussa seuraavan lenkin käyttöön.

Ekosysteemin eliöyhteisön ajallinen muuttuminen on ekosysteemin sukkessiota.

Avainsanat

aineen kierto
biomassa
ekologinen tehokkuus
ekosysteemi
energian ohivirtaus
epäorgaaninen
hajottaja
jatkotuotanto
kliimaksi
kuluttaja
omavarainen
orgaaninen
perustuotanto
pioneerilaji
ravintoketju
ravintoverkko
sukkessio
toisenvarainen
tuottaja

Ihminen aiheuttaa häiriöitä luonnon toimintaan

15.

Ihminen on osa luontoa. Kymmenien vuosituhansien ajan keräilijänä ja metsästäjänä elänyt ihminen jätti vain vähän jälkiä luontoon. Maanviljelyn ja kiinteän asutuksen alkaminen muutamia tuhansia vuosia sitten alkoi kuitenkin muuttaa luonnon ekosysteemejä. Nykyisin ihmisen vaikutus ulottuu maapallolla lähes kaikkialle.

Luonnon monimuotoisuus on uhattuna kaikkialla

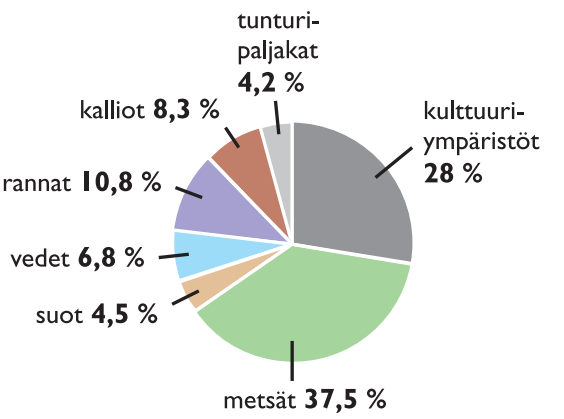
Biodiversiteetti eli elävän luonnon monimuotoisuus on elämän yli kolmen miljardin vuoden mittaisen kehityksen, erilaisten muutosten ja vähittäisen sopeutumisen tulosta. Ekosysteemeihin on kehittynyt monimutkaisia, tosin hauraita ja haavoittuvia vuorovaikutussuhteita. Ihmisen tapa hyödyntää ympäristöä ja sen luonnonvaroja on niin voimallinen ja lähes kaikkialle ulottuva, ettei täysin häiriöttömiä ekosysteemejä ole oikeastaan enää missään. Erityisen voimakas muutos on tapahtunut teollistumisen aikakaudella, jolloin ihmiskunta on käyttänyt luonnonvaroja yhä nopeammin ja nopeammin.

Elinympäristöjen tuhoutuminen on monimuotoisuuden pahin uhka

Ihminen hävittää tai yksinkertaistaa kokonaisia ekosysteemejä kasvavan väestön, rakentamisen sekä maa- ja metsätalouden tarpeisiin. Uhanalaisimpia ekosysteemejä ovat metsät, erityisesti trooppiset sademetsät. Vuosittain metsiä hävitetään 17 miljoonan hehtaarin kokoinen alue, mikä tarkoittaa, että joka sekunti metsää katoaa lähes jalkapallokentän kokoisen alueen verran. Metsien häviäminen on maapallon historian voimakkaimpia ympäristömuutoksia. Mitä pienempinä palasina metsät ovat, sitä vähemmän lajeja niissä voi elää.

Metsän hakkaaminen ja raivaaminen maataloutta varten on laajaa myös muilla ilmastovyöhykkeillä, mikä voi etenkin kuivilla ja vuoristoisilla alueilla johtaa voimakkaaseen eroosioon. Monet kuivat ruohostoalueet, kuten arot, on valjastettu laitumiksi ja viljelymaiksi, mikä sekin on johtanut monin paikoin eroosioon ja aavikoitumiseen. Useissa kehitysmaissa nopea väestönkasvu johtaa usein liian voimaperäiseen ympäristön hyödyntämiseen ja samalla ympäristön kantokyvyn ylitykseen.

Muita lajistoltaan runsaita uhanalaisia ekosysteemejä ovat muun muassa erilaiset kosteikot, tulvivat jokisuistot ja koralliriutat. Kosteikkoja uhkaavat kuivatus ja pirstoutuminen pieniksi laikuiksi. Koralleja uhkaavat saastuminen, kuluminen ja etenkin ilmastonmuutos ja siitä johtuva meriveden lämpeneminen ja mahdollinen merenpinnan nousu. Suomessa uhanalaisia elinympäristöjä ovat etenkin vanhat metsät, rehevät lehdot sekä ravinteikkaat lettosuot. Myös vuosisatojen aikana asutuksen liepeille niiton ja laidunnuksen ansiosta kehittyneet perinnebiotoopit, kuten ahot, kedot ja niityt, ovat maankäytön muuttuessa käyneet uhanalaisiksi.



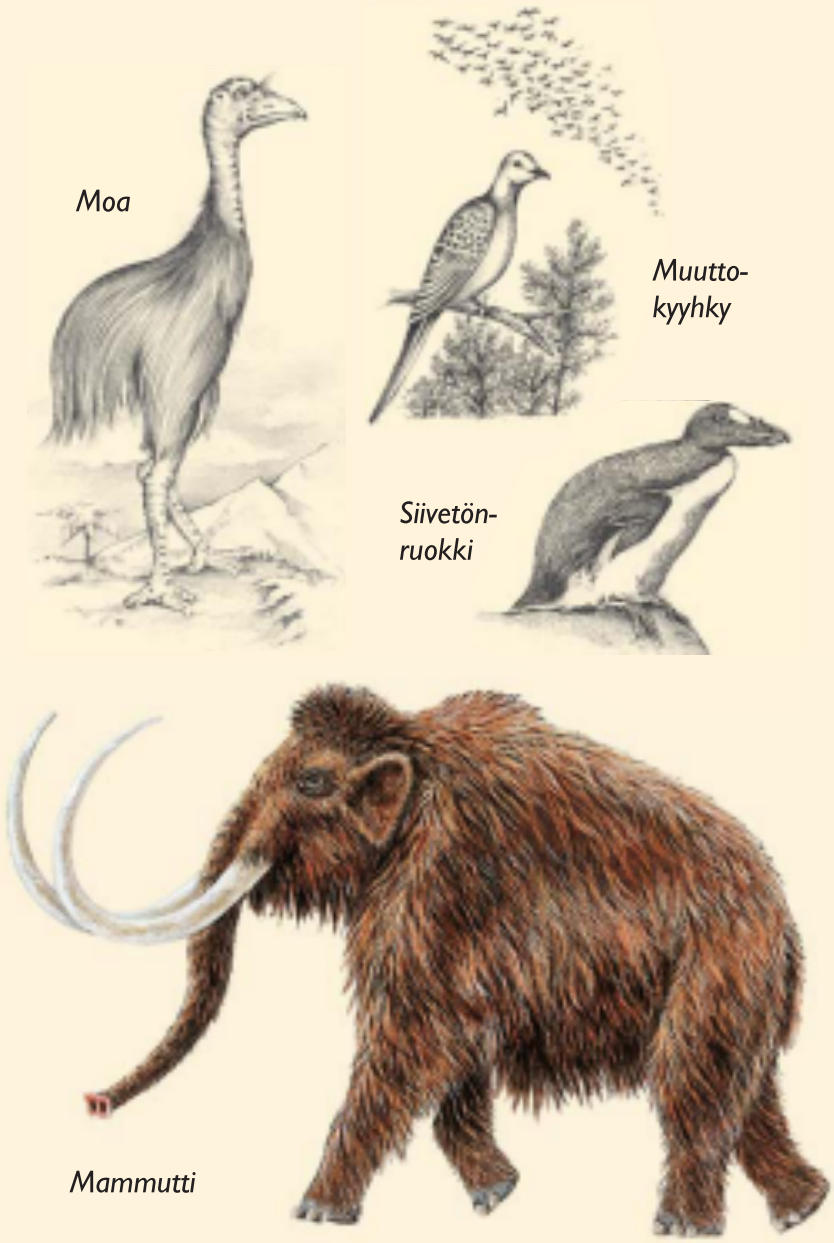
Uhanalaiset lajit elinympäristöittäin Suomessa
(Lähde: SYKE 2007)

Teiden raivaaminen sademetsiin on usein alku metsien tuhoutumiselle, maaperän eroosiolle ja lajien katoamiselle.

Nykyinen sukupuuttoaalto on ihmisen aiheuttama

Ihminen, noin 50–100 kiloa painava kädellisten ryhmään kuuluva nisäkäs on sata kertaa yleisempi kuin yksikään vastaavan kokoinen nisäkäs on koskaan ollut. Lajimme käyttää noin 30 prosenttia planeettamme maakasvillisuuden sitomasta auringon energiasta. Tapamme käyttää luonnon resursseja ei voi olla vaikuttamatta muiden lajien elinmahdollisuuksiin.

Maapallon historiasta tunnetaan vaiheita, jolloin esimerkiksi meteoriitin törmäys on aiheuttanut suuria sukupuuttoaaltoja. Nykyisin arvioidaan, että ihmisen toimesta aiheutuu meteoriitin törmäykseen verrattavissa oleva sukupuuttoaalto, jonka nopeus voi olla jopa 10 000-kertainen luonnolliseen verrattuna. Tuhannet, kenties jopa kymmenet tuhannet lajit ovat välittömässä vaarassa kuolla sukupuuttoon. Kukaan ei tiedä tarkkoja lukuja, koska ei myöskään tiedetä paljonko lajeja on maapallolla. Monet levinneisyydeltään pienialaiset eliölajit saattavat kuolla sukupuuttoon kenenkään huomaamatta.



Esimerkkejä sukupuuttoon kuolleista lajeista, joiden häviämiseen ihminen on eri tavoin vaikuttanut.

Ihminen siirtää lajeja

Ihminen on tarkoituksellisesti tai huomaamattaan siirtänyt valtavan joukon eliölajeja alueelta toiselle. Nämä tulokaslajit ovat usein sopeutuneet erinomaisesti uuteen ympäristöönsä ja ryhtyneet kilpailemaan alkuperäisten lajien kanssa. Samalla ne ovat aiheuttaneet vakavia häiriöitä ekosysteemiin. Monesti tulokkailta ovat puuttuneet luontaiset viholliset, pedot tai loiset, jotka olisivat pitäneet kurissa kasvavia tulokaspopulaatioita. Uudet lajit ovat helposti syrjäyttäneet tai tuhonneet alkuperäisiä lajeja. Näin on käynyt etenkin monilla valtamerten saarilla, joilta monet kotoperäiset eli endeemiset lajit ovat tulokaslajien vuoksi kuolleet sukupuuttoon. Suomessa tulokaslajeja ovat muun muassa minkki, piisami, valkohäntäpeura, kanadanmajava, täplärapu, kanadanhanhi ja fasaani. Etenkin Pohjois-Amerikasta kotoisin oleva minkki on osoittautunut todelliseksi häiriköksi, sillä se tuhoaa paljon rantalinnuston poikueita ja on ilmeisesti osaltaan vaikuttanut meikäläisen lajiparinsa, vesikon, häviämiseen.

Vesihyasintti ja salvinia ovat Brasiliasta kotoisin olevia vesikasveja, jotka ovat tulokaslajeja esimerkiksi Yhdysvalloissa, Intiassa ja Afrikassa. Kumpikin laji on aiheuttanut suuria haittoja sekä luonnolle että ihmisille muun muassa tukkimalla vesistöjä jopa metrin paksuisina mattoina. Alkuperäisellä levinneisyysalueella salvinian liiallista runsastumista pitää kurissa kovakuoriainen, jonka toukat käyttävät sitä ravintonaan.

Vesikko

Minkki

Vesikon ja minkin yhdennäköisyys ja elintapojen samankaltaisuus kertovat niiden ekolokerojen päällekkäisyydestä. Kuvassa olevan vesikon turvapaikkana on Korkeasaaren eläintarha Helsingissä.

Pieneneviä populaatioita uhkaa perinnöllinen rappeutuminen

Metsät, niityt ja monet muut elinympäristöt paitsi vähenevät myös pirstoutuvat laikuiksi. Laikun koon pienentyessä siinä elävien lajien määrä supistuu ja samalla paikalle sopeutuneiden eliöiden populaatiot pienenevät. Laikut eristyvät toisistaan, jolloin yksilöt eivät pysty siirtymään laikusta toiseen niiden välisen ympäristön muuttumisen ja pitkien välimatkojen vuoksi. Uhaksi muodostuu muun muassa sukusiitos eli se, että liian läheistä sukua olevat yksilöt lisääntyvät laikuissa keskenään. Tällöin yksilöissä olevat huonot perintötekijät voivat vaikeuttaa lisääntymistä tai lisätä kuolevuutta. Sukusiitos on yleistä kaikilla harvinaisilla kasvi- ja eläinlajeilla. Jos lajin kanta pienenee alle sadan, muodostaa sukusiitos vakavan uhan ja johtaa lajin helposti sukupuuttoon.

Yksipuolistuvat populaatiot tuhoutuvat helpommin myös elinympäristön muuttuessa. Erityisesti lajien levinneisyyden reuna-alueilla yksipuolistuminen voi koitua populaatioille kohtalokkaaksi satunnaisten, mutta sinänsä normaalien ilmiöiden kuten tautien, myrskyjen, kuivuuden tai kylmyyden takia. Monien lajien levinneisyys koostuu useista erillisistä populaatioista, jotka ovat sopeutuneet paikallisiin oloihin ja ovat siksi perintötekijöiltään erilaisia. Yhtä tärkeää, kuin on estää lajien häviäminen, on huolehtia erillisten populaatioiden säilymisestä ja siten taata lajien sisäinen perinnöllinen muuntelu.

Täpläverkkoperhonen on esimerkki lajista, joka on kärsinyt perinteisen maatalouden luomien niittyjen ja ketojen häviämisestä.

Miksi monimuotoisuus on tärkeää?

Monimuotoisuus on biosfäärin keskeisimpiä ominaisuuksia. Eliöt pyrkivät sopeutumaan erilaisiin oloihin mahdollisimman monin tavoin, ja samalla syntyy erilaisuutta. Tämä ilmenee monimuotoisuutena eli erilaisina ekosysteemeinä, lajien runsautena ja lajinsisäisenä perinnöllisenä muunteluna.

Eri ekosysteemit ylläpitävät maapallon biologisia, geologisia ja kemiallisia kiertoja ja säätelevät siten ilmakehän koostumusta, aineiden kulkua ja maannoksen muodostusta. Monilajinen ekosysteemi on yleensä vakaa ja tuottava. Jokainen laji on tärkeä osa toimivaa kokonaisuutta, jossa yhdenkin lajin häviäminen voi muuttaa ratkaisevasti lajien välisiä vuorovaikutussuhteita. Lajinsisäinen geneettinen monimuotoisuus lisää lajin populaatioiden vakautta ja kykyä selvitä ympäristön muutoksista.

Lajeja, joista monet muut eliöt ovat riippuvaisia, kutsutaan avainlajeiksi. Esimerkiksi Suomen metsissä haapa on puulaji, jota ilman moni muu laji ei tule toimeen. Vanha, ontto haapa on mainio pesäpuu monille kolopesijöille ja sen lahoava puuaines on tärkeää ravintoa sadoille kovakuoriaisille. Haavan kuori on emäksisempi kuin useimpien muiden tavallisten puulajien, mikä tekee siitä suotuisan kasvualustan kymmenille sammal- ja jäkälälajeille. Lisäksi haapa on elinehto monille uhanalaisille pienille maakotiloille tai kääpäsienille. Nuoret haavat ovat oivallista ravintoa hirville, jäniksille ja majaville. Vesoista kasvaneet haavikot ovat sekä ekologisesti että maisemallisesti arvokkaita.

Ihminen hyödyntää taloudessaan vain hyvin pientä lajivalikoimaa. Jokainen luonnossa oleva laji on kuitenkin mahdollinen hyödynnettävä vaikkapa ravintona, lääkkeenä tai jossain toistaiseksi tuntemattomassa käytössä. Luonto tarjoaa meille jatkuvasti palveluja, joita emme voi muulla tavoin korvata. Jos kuvittelisimme edes yrittävämme korvata luonnon tuottamat palvelut itse valmistamillamme korvikkeilla, tarvitsisimme asiantuntijoiden mukaan rahamäärän, joka vastaisi kaksi kertaa maailman kaikkien valtioiden

Vanhojen haapametsiköiden säilyttäminen on liito-oravalle elintärkeää.

yhteenlasketun kansantulon suuruista summaa. Esimerkiksi vuonna 1987 löytyi Borneosta eräs kuismakasveihin kuuluva puu, josta tehty uute osoittautui erittäin tehokkaaksi AIDS-potilaiden hoidossa. Kun puuta etsittiin uudelleen tarkempia tutkimuksia varten, havaittiin, että paikalliset ihmiset olivat ehtineet kaataa sen poltto- tai rakennuspuuksi.

Kaikilla lajeilla on yhtäläinen olemassaolon oikeutus. Monimuotoinen luonto on jokaiselle kansakunnalle yhtä arvokas rikkaus kuin kansallinen kulttuuri tai taloudellinen hyvinvointi. Se on loppumaton kauneuden, henkisen hyvinvoinnin ja vaurauden lähde.

Sammakot ovat kenties parhaita maapallon tilan ilmentäjiä, sillä ne ovat elintoimintojensa ja -tapojensa vuoksi erityisen herkkiä erilaisille ympäristössä tapahtuville muutoksille. Sammakoiden määrät ovatkin vähentyneet hälyttävästi, ja monet lajit ovat jo ehtineet kuolla sukupuuttoon toisen maailmansodan jälkeisenä aikana.

Tutkijat keräävät sademetsistä kasvinäytteitä tarkempia tutkimuksia varten, sillä monet kasvilajit ovat mahdollisia lääkekasveja tulevaisuudessa. Sademetsiä hävitetään kuitenkin niin nopeasti, että monet lääkekasveiksi kelpaavat lajit katoavat ennen kuin niitä pystytään hyödyntämään.

Ekologinen tieto luo pohjaa kestävän kehityksen mukaiselle toiminnalle

Kestävän kehityksen periaate on yleisesti hyväksytty toimintamalli, jossa nykyisen sukupolven tarpeet pyritään tyydyttämään siten, että myös tulevilla sukupolvilla olisi yhtäläiset mahdollisuudet tyydyttää omat tarpeensa. Keskeinen tavoite siis on, että ihmisen toiminta, kuten esimerkiksi maanviljely, metsävarojen hyödyntäminen ja kalastus ovat sopusoinnussa luonnon toiminnan kanssa. Siksi on välttämätöntä turvata luonnon monimuotoisuus. Rajaton aineellinen kasvu ei ole mahdollista rajallisessa tilassa. Jo nyt suomalainen kulutustaso ylittää maapallon ekologisen kantokyvyn. Jos kaikki kuluttaisivat yhtä paljon kuin suomalaiset, tarvittaisiin yhteensä neljä maapalloa tyydyttämään ihmisten tarpeet. Pohjoisamerikkalainen kulutustaso edellyttäisi ainakin viittä maapalloa.

Kestävän kehityksen periaatteiden toteuttaminen merkitsee kaikille maille suurta rakenteellista ja etenkin asenteellista muutosta. Erityisen tärkeää on tukea kehitysmaita, jotta nämä voisivat välttää ympäristön kannalta tuhoisia ratkaisuja. Rikkailla mailla on hyvät mahdollisuudet tukea tätä niin taloudellisten, tieteellisten kuin teknisten voimavarojensa avulla. Yksittäisinä kansalaisinakin voimme vaikuttaa asioihin kulutusvalinnoillamme. Niiden pitää perustua tietoon, eikä vähiten biologiseen tietoon, kuten esimerkiksi ekologisten prosessien tuntemiseen. Hyvä ohje voisi olla: ”Ajattele maailmanlaajuisesti, toimi paikallisesti!”

Kestävän kehityksen käsite otettiin käyttöön YK:n ympäristö- ja kehityskokouksessa Rio de Janeirossa vuonna 1992. Kestävä kehitys merkitsee seuraavien ekologisten lainalaisuuksien noudattamista:

1. Ravinnon ja energian tuottamisen on perustuttava uusiutuviin luonnonvaroihin.
2. Uusiutuvia luonnonvaroja voi käyttää vain niiden uusiutumiskyvyn rajoissa.
3. Uusiutumattomia luonnonvaroja on kierrätettävä.
4. Eri lähteistä peräisin olevilla päästöillä ei saa haitata ekosysteemien toimintaa.
5. Luonnon monimuotoisuuden väheneminen pysäytetään.

Monissa Afrikan maissa, kuten Keniassa, naiset suunnittelevat ja toteuttavat kestävään kehitykseen pohjautuvia projekteja. Esimerkiksi puita istutetaan eroosiosta kärsiville alueille.

TEHTÄVÄT

1. Biodiversiteetti

Palauta mieleesi kurssin alkupuolelta (luku 4), mitä tarkoitetaan biologisella monimuotoisuudella eli biodiversiteetillä. Miten se ilmenee eri tasoilla? Miksi biodiversiteetin säilyminen on tärkeää?

2. Sukupuuttoaallot

Maapallon eliömaailmaa on kohdannut kuusi sukupuuttoaaltoa (luku 9). Mistä ne ovat aiheutuneet?

3. Ilmaston lämpenemisen vaikutukset

Miten maapallon ilmaston lämpeneminen todennäköisesti vaikuttaa

a. jääkarhujen levinneisyyteen
b. Suomen linnuston lajikoostumukseen
c. metsäjäniksen ja rusakon kilpailuasetelmaan Etelä-Suomessa?

4. Lajien siirto

Isokokoista sammakkoeläintä, sokeriruokokonnaa, siirrettiin 1930-luvulla Havaijilta Australiaan. Konnien toivottiin syövän sokeriruokoviljelmiä tuhoavia kovakuoriaisia. Konnat alkoivat kuitenkin syödä monia muita pieneläimiä, jopa liskoja. Konnapopulaatio kasvoi seuraavasti:

vuosi	määrä
1930	100
1960	2 000
1970	30 000
1980	70 000
1990	120 000
2000	500 000
2006	2 000 000

a. Piirrä konnapopulaation kasvua havainnollistava diagrammi.
b. Analysoi diagrammia. Pohdi, miksi konnapopulaatio menestyi näin hyvin.
c. Miksi konnapopulaatio ei alkuperäisalueellaan kasvanut näin tehokkaasti?
d. Miksi lajien siirto uusille alueille aiheuttaa usein ongelmia?

Yhteenveto

Elinympäristöjen, erityisesti metsien tuhoutuminen on suurin elämän monimuotoisuutta uhkaava tekijä.

Ihmisen toiminnasta aiheutuu sukupuuttoaalto, jossa ehkä kymmenet tuhannet lajit häviävät.

Monet populaatiot pirstoutuvat pieniksi laikuiksi, mikä voi johtaa niissä perinnölliseen rappeutumiseen.

Biodiversiteetin säilyttäminen on tulevaisuuden kannalta elintärkeää.

Kestävä kehitys edellyttää ihmisen toiminnan sopeutumista luonnon toimintaan.

Avainsanat

avainlaji
kestävä kehitys
kotoperäinen laji
monimuotoisuus
populaation pirstoutuminen
sukupuutto
sukusiitos
tulokaslaji
uhanalaisuus

Käsitteet

A

abioottiset ympäristötekijät, *abiotic factors* 126
Elottoman luonnon fysikaaliset ja kemialliset ympäristötekijät, kuten ilmasto, valo, lämpötila, maaperä, vesi, happamuus jne.

aineenvaihdunta, *metabolism* 11
Eliöiden elintoimintoihin liittyvät solujen kemialliset reaktiot. Esimerkiksi eliölle tarpeettomien aineiden hajotus.

aineiden kierto, *biogeochemical cycle* 156
Aineiden sitoutuminen tuottajien kautta elolliseen biomassaan, niiden kulkeutuminen ravintoketjuissa eri kuluttajaportaille sekä palaaminen hajottajien kautta takaisin tuottajille.

alalaji, *subspecies* 71
Lajia suppeampi eliökunnan luokittelun yksikkö. Alalaji tarkoittaa levinneisyydeltään paikallista, keskenään lisääntyvien populaatioiden ryhmää, joka poikkeaa muista saman lajin vastaavista ryhmistä.

alkeiseliöt, *monerans* 33
Esitumallisia eliöitä, joihin kuuluvat arkit ja bakteerit.

alkiokalvot, *embryonic membranes* 103
Maaselkärankaisilla (matelijat, linnut, nisäkkäät) alkion ympärillä olevia kalvoja, joiden tehtävänä on suojata ja ravita kehittyvää alkiota.

alkuaine, *element* 8
Aine, jonka kaikilla atomeilla on sama järjestysluku, eli se muodostuu keskenään samanlaisista atomeista.

alkueliöt, *protists* 33
Aitotumallisia yksi- ja monisoluisia eliöitä, jotka muodostavat alkueliökunnan, johon kuuluvat limasienet, levät ja alkueläimet.

alkueläimet, *protozoans* 35
Yksisoluisia eläimiä, jotka kuuluvat alkueliöihin.

alleeli, *allele* 56
Mutaation tuloksena syntynyt geenin vaihtoehtoinen muoto. Saman geenin eri alleelit vaikuttavat ominaisuuteen siten, että siitä ilmenee erilaisia piirteitä.

aminohappo, *amino acid* 42
Proteiinin rakenneosa, joita on elollisessa luonnossa 20 erilaista. Koostuu hiilestä, hapesta, vedystä ja typestä.

arkit, *archs* 34
Eliöitä, jotka muistuttavat bakteereita, mutta luokitellaan nykyisin omaksi eliökunnakseen. Useat arkit elävät äärimmäisissä olosuhteissa, kuten kuumissa lähteissä tai rikkilähteissä.

arktinen vyöhyke, *arctic zone* 131
Kylmä vyöhyke, pohjoisnapaa ympäröivät tundra- ja jäätikköalueet, joilla lämpimimmänkin kuukauden keskilämpötila on alle +10 °C.

autotrofi, *autotrophic* 154
Omavarainen eliö, joka itse pystyy foto- tai kemosynteesin avulla tuottamaan tarvitsemansa energian ja orgaanisia yhdisteitä.

avainlaji, *key species, keystone species* 167
Ekosysteemin toimintaan voimakkaasti vaikuttava laji.

B

bakteerit, *bacteria* 34
Alkeiseliöihin kuuluvia esitumallisia eliöitä, joiden solurakenne on yksinkertainen, esim. tumakotelo puuttuu kokonaan.

biodiversiteetti, *biodiversity* 47
Elollisen luonnon monimuotoisuus, joka tarkoittaa erilaisten ekosysteemien monimuotoisuutta, eliöyhteisöjen monimuotoisuutta eli lajirunsautta sekä lajin sisäistä perinnöllistä muuntelua.

bioindikaattori, *indicator species* 129
Indikaattori- eli ilmentäjälaji, sietoisuudeltaan kapeaalainen laji, jonka esiintymisen tai runsauden perusteella voidaan tehdä päätelmiä ympäristön ominaisuuksista, kuten happamuudesta, suolaisuudesta, ravinteisuudesta, saastuneisuudesta tms.

biokemia, *biochemistry* 20
Eliöiden solutasolla tapahtuvia kemiallisia ilmiöitä tutkiva tiede.

biomassa, *biomass* 154
Alueen, populaation tai eliön elävän aineksen määrä tietyllä hetkellä, ilmaistaan tuorepainona, kuivapainona tai energiasisältönä.

biomi, *biome* 48
Suurekosysteemi, biosfäärin ja ekosysteemien väliin sijoittuva käsite, joka tarkoittaa lähes samaa kuin Maapallon kasvillisuusvyöhykkeet, kuten pohjoinen havumetsä, arot, aavikot, sademetsät jne.

bioottiset ympäristötekijät, *biotic factors* 126
Elollisen ympäristön tekijät, kuten pedot, saaliit, loiset, kilpailevat lajit jne.

biosfääri, *biosphere* 18
1) Se osa maapalloa, jossa esiintyy elämää. 2) Maapallon kaikkien ekosysteemien muodostama toimiva kokonaisuus.

bioteknologia, *biotechnology* 29
Tekniikkaa, jossa hyödynnetään eliöitä tai niistä saatavia aineita. Esimerkiksi piimän valmistus maitohappobakteerien avulla.

biotooppi, *biotope* 47
Eliöiden tyypillinen elinympäristö, esim. kasveilla kasvupaikka ja linnuilla pesimäympäristö.

boreaalinen vyöhyke, *boreal zone* 47
Pohjoinen havumetsävyöhyke.

bruttoperustuotanto, *gross primary production* 157
Tuottajien kokonaistuotanto, ekosysteemin kaikkien tuottajien yhteensä tietyssä ajassa sitoma energiamäärä, josta ei ole vähennetty niiden omiin elintoimintoihin kulunutta energiaa.

bruttotuotanto, *gross production* 157
Kokonaistuotanto, tuottaja- tai jonkin kuluttajaportaan sitoma energiamäärä, josta ei ole vähennetty vielä eliön omiin elintoimintoihin kulunutta energiaa.

D

detritus, *detritus* 154
Kuollut eloperäinen aine tai eliöiden jäte.

DNA, *deoxyribonucleic acid* 10
Deoksiribonukleiinihappo, solujen perinnöllistä informaatiota sisältävä molekyyli.

E

ekologia, *ecology* 25, 124
Biologian osa-alue, joka tutkii eliöiden levinneisyyteen ja runsauteen vaikuttavia tekijöitä eli eliöiden ja niiden ympäristön välisiä suhteita.

ekologinen pyramidi, *ecological pyramid* 158
Kaavio (malli), jonka avulla havainnollistetaan ravintoketjujen lenkkien sisältämää biomassaa, energiaa tai lajimäärää. Alimpana on aina tuottajaporras ja ylimpänä ravintoketjun viimeinen kuluttajaporras, ns. huippupeto.

ekologinen sukkessio 159
Ks. sukkessio.

ekologinen tehokkuus, *ecological efficiency* 158
Hyötysuhde, jolla ravintoketjun jokin lenkki sitoo ottamaansa energiaa biomassaansa, eli siirtää sitä seuraavan portaan käyttöön.

ekologisesti kestävä kehitys, *ecologically sustainable development* 169
Kestävän kehityksen ekologinen ulottuvuus: ihmisen toiminnan on oltava sopusoinnussa ekologisten prosessien kanssa.
Ks. kestävä kehitys.

ekolokero, *(ecological) niche* 128
Ekologinen lokero, eliön asema tai tehtävä ekosysteemissä. Ilmaisee tapaa, jolla eliö on sopeutunut ympäristöönsä ja hyödyntää sitä.

ekosysteemi, *ecosystem* 153
Eliöiden ja niiden kanssa vuorovaikutuksessa olevan elottoman luonnon muodostama toiminnallinen kokonaisuus jollakin ympäristötekijöiltään jokseenkin yhtenäisellä alueella, esim. metsä, järvi, pelto, akvaario.

ekosysteemien monimuotoisuus, *biodiversity of ecosystems, biodiversity of communities* 47
Maapallolla tavattavien erilaisten ekosysteemien ja elinympäristöjen kirjo. Ekosysteemien monimuotoisuus perustuu elottoman luonnon vaihteluihin maapallolla.

eksponentiaalinen kasvu, *exponential growth* 139
Rajoittamaton kasvu, jonka kuvaaja on lineaarisella asteikolla J-kirjaimen muotoinen.

elimistö, *organ system* 39
Koostuu useasta elimestä, yksi elimistö hoitaa tiettyä tehtäväkokonaisuutta. Esimerkiksi hengityselimistö.

elin, *organ* 39
Eläimillä erilaisista kudoksista muodostunut, tiettyyn tehtävään erikoistunut ruumiinosa. Esimerkiksi sydän.

eliö, *organism* 10
Yhden tai useamman solun muodostama itsenäisesti toimiva yksilö, kuten kasvi, eläin, sieni, alkeis- tai alkueliö.

eliöyhteisö, *community* 143
Tietyn alueen kaikkien eliöiden, kuten eläinten, kasvien, sienten ja mikrobien populaatioiden muodostama toiminnallinen, erilaisten vuorovaikutusten kokonaisuus.

eloonjäämiskuvaaja, *survivorship curve* 138
Kuvaaja, joka ilmaisee populaation eri-ikäisten yksilöiden todennäköisen eliniän.

elävä fossiili, *living fossil* 110
Nykyisin eläviä jäänteitä eliöryhmistä, jotka ovat eläneet varhaisemmilla geologisilla aikakausilla nykyistä runsaampina.

emigraatio, *emigration* 138
Poismuutto, lähtömuutto.

endeeminen, *endemic* 73
Ks. kotoperäinen.

endosymbioositeoria, *endosymbiosis theory* 87
Teoria, jonka mukaan tumallisten solujen mitokondriot ja viherhiukkaset ovat alun perin varhaisen solun sisään joutuneita bakteereita.

energian ohivirtaus, *energy outflow, respiratory heat loss* 158
Energia, jonka kukin ravintoketjun lenkki tai energiapyramidin porras kuluttaa omiin elintoimintoihinsa (lähinnä hengitykseen). Ilmaistaan yleensä prosentteina käyttöön tulevasta energiasta.

energiapyramidi, *energy pyramid* 158
Kaavio (malli), jolla havainnollistetaan ravintoketjujen lenkkien sisältämää energiaa. Ks. ekologinen pyramidi.

epäorgaaninen, *inorganic* 83
Elottoman luonnon elottomia aineita tai siellä tapahtuvia reaktioita.

esitumallinen, *prokaryote* 33
Eliö, jonka solussa ei ole tumakoteloa, (arkit ja bakteerit).

etologia, *ethology* 25
Biologian osa-alue, joka tutkii eläinten käyttäytymistä.

evoluutio, *evolution* 11
Populaatioissa ja lajeissa tapahtuva kehitys, joka perustuu perinnöllisiin muutoksiin, suvulliseen lisääntymiseen, luonnonvalintaan ja sattumaan. Se johtaa populaatioiden ja lajien perinnölliseen muuttumiseen ja parempaan sopeutumiseen ympäristöönsä.

F

fitnessi, *fittness* 63
Ks. kelpoisuus.

fossiili, *fossil* 114
Muinoin elänyt eliö, joka on säilynyt nykypäiviin saakka esimerkiksi kivettymänä, valelmana tai painanteena.

fossiilisarja, *series of fossils* 116
Samasta eliöstä löytyneet eri-ikäiset fossiilit, jotka todistavat eliön asteittaisesta kehittymisestä. Esimerkiksi hevosen fossiilisarja.

fotosynteesi, *photosynthesis* 13
Yhteyttämistä valon avulla. Kemiallisten reaktioiden sarja, jonka avulla kasvien viherhiukkasissa hiilidioksidista ja vedestä valmistuu auringon valoenergian avulla glukoosia ja vapautuu happea, auringosta peräisin olevaa energiaa sitoutuu biomassaan.

G

geeni, *gene* 59
Perintötekijä, eliön DNA-molekyylin jakso, joka ohjaa solun ja eliön elintoimintoja sekä ominaisuuksien kehitystä.

geenivirta, *gene flow* 71
Geenien kulkeutuminen populaatiosta toiseen siirtyvien yksilöiden tai kasvien siitepölyn mukana.

geneettinen ajautuminen, satunnaisajautuminen, *genetic drift* 74
Erityisesti pienissä populaatioissa havaittava ilmiö, jonka vaikutuksesta populaation geenikoostumus muuttuu sattumanvaraisesti.

geneettinen muuntelu, *genetic variation* 47
Perinnöllinen muuntelu. Saman lajin sisällä ilmenevä geenien aiheuttama yksilöiden ja populaatioiden erilaisuus.

genetiikka, *genetic* 20
Ominaisuuksien periytymistä ja muuntelua tutkiva tiede.

H

hajottaja, *decomposer* 149
Eliö, joka käyttää tarvitsemansa energian lähteenä eläinten jätöksiä tai kuolleita eliöitä.

hajottava valinta,
disruptive selection 64
Etenkin vaihtelevassa ympäristössä ilmenevä luonnonvalinnan muoto, jossa valinta suosii tietyn ominaisuuden kumpaakin ääripäätä ilmentäviä populaation yksilöitä.
Ks. valinta.

hedelmöitys, *fertilization* 57
Eri sukupuolista peräisin olevien sukusolujen yhtyminen.

heimo, *family* 32
Eliöiden tieteellisessä luokittelussa käytettävä yksikkö. Esimerkiksi koiraeläinten heimo. Heimo voidaan jakaa eri sukuihin.

hengitys, *respiration* 86
Soluhengitys, yhteyttämiselle vastakkainen reaktiosarja, jossa orgaanisessa aineessa olevaa kemiallista energiaa vapautuu eliön käyttöön ja osa poistuu lämpönä.

hermokudos, *nerve tissue* 39
Eläinten kudostyyppi, joka on erikoistunut tiedon vastaanottoon, kuljettamiseen ja käsittelyyn.

heterotrofi, *heterotrophic* 154
Ks. toisenvarainen.

huippupeto, *top predator* 158
Ravintoketjun viimeinen kuluttajaporras, jolla ei ole saalistajia.

hypoteesi, *hypothesis* 24
Tieteellinen oletus jonkin ilmiön toimintamekanismista. Hypoteesi pyritään testaamaan tutkimuksen avulla.

häirintäkilpailu,
interference competition 144
Kilpailun muoto, jossa eliöt ovat kosketuksissa toistensa kanssa, taistelevat tilasta, pesäpaikoista tai parittelukumppaneista; kasveilla kemiallisten haitta-aineiden eritys.

I

ikäpyramidi,
age pyramid 138
Kuvaaja, jolla havainnollistetaan populaation ikärakennetta esittämällä eri-ikäisten, eri sukupuolta olevien yksilöiden suhteelliset osuudet koko populaatiosta.

ilmaputkisto, *tracheas* 93
Niveljalkaisilla ruumiinsisäisestä ilmankuljetuksesta huolehtiva rakenne.

ilmarako, *stomata* 101
Kasveilla lähinnä lehtien pinnalla sijaitseva pieni aukko, jota huulisolut reunustavat. Ilmarakojen kautta kasveista haihtuu vettä, ja niiden kautta kulkevat myös hiilidioksidi ja happi. Ilmarakoja on yleensä enemmän lehtien ala- kuin yläpinnalla.

immigraatio,
immigration 138
Tulomuutto.

indikaattorilaji, ilmentäjälaji, *indicator species* 129
Ks. bioindikaattori.

isolaatio, *isolation* 71
Populaation eristyminen muista saman lajin populaatioista. Maantieteelliset ja muut risteytymisesteet estävät geenivirran ja aiheuttavat isolaatiota.

isäntä, *host* 148
Eliö, josta loinen ottaa ravintonsa tai jonka varassa pöytävieras elää. Ks. loinen, pöytävierassuhde.

isäntägeeni,
homeoottinen geeni,
homeotic gene 110
Kokonaisen geenisarjan toimintaa ohjaava geeni.

itiökasvit, *spore plants* 100
Itiökasvien elämänkiertoon kuuluu lisääntyminen itiöiden avulla. Itiökasveihin kuuluvat sammalet ja sanikkaiset.

itiöpesäke, *sporangium* 100
Itiökasvien rakenne, jonka sisällä syntyy itiöitä.

itiöt, *spores* 37
Sienissä ja itiökasveissa syntyviä lisääntymissoluja.

itsepölytys,
self-pollination 61
Kasvin kukan hedelmöittää eli pölyttää samasta kukasta tai saman kasvin toisesta kukasta peräisin oleva siitepöly.

itsesäätelykyky,
self regulation 11
Eliön tai suuremman järjestelmän kyky vastustaa ja korjata erilaisten häiriöiden vaikutuksia. Esimerkiksi liian lämmön poisto hikoilemalla tai populaatioiden kasvun säätely.

J

jakautuminen, *fission* 60
Suvuton lisääntymistapa, jossa yhdestä emoyksilöstä tulee kaksi keskenään samanlaista tytäryksilöä.

jatkotuotanto,
secondary production 158
Ekosysteemin sekundaarituotanto, eri kuluttajaportaisiin sitoutunut energia tai biomassa. Suure ilmaistaan tavallisesti pinta-alayksikköä kohti.

johtofossiili, *index fossil* 116
Tiettynä aikana laajalla alueella elänyt eliö, jota voidaan käyttää apuna uusien fossiililöytöjen iänmäärityksessä.

johtojänne,
vascular bundle 101
Putkilokasveilla johtosolukoista muodostuva, vettä ja ravinteita sekä yhteyttämistuotteita kuljettava putkimainen rakenne. Johtojänteet alkavat juurista ja johtavat varren kautta lehtiin, jossa niitä kutsutaan lehtisuoniksi.

johtosolukko,
vascular tissue 36
Aineiden kuljetukseen erikoistunut kasvisolukko.

jäkälä, *lichen* 38
Eliö, joka koostuu sienestä ja mikroskooppisesta levästä. Osapuolet elävät toisiaan hyödyttävässä mutualistisessa suhteessa.

K

kaari, *division* 32
Kasvien korkein luokitteluyksikkö. Esimerkiksi siemenkasvien kaari.

kaksikylkinen, *bilateral* 90
Eliö, joka voidaan pituussuunnassa jakaa kahteen samanlaiseen osaan. Esimerkiksi perhonen.

kaksineuvoinen eliö,
hermaphrodite organism 91
Eläin, joka tuottaa sekä koiras- että naaraspuolisia sukusoluja tai kasvi, jossa samassa kukassa on sekä hede- että emikukkia. Esimerkiksi laakamadot ovat kaksineuvoisia.

kannanvaihtelu,
fluctuation 141
Populaation tiheyden ja koon vaihtelu.

kantokyky,
carrying capacity 137
Ks. ympäristön kantokyky.

kapea-alainen,
stenotopic 129
Eliö tai laji, jonka sietokyky joihinkin ympäristötekijöihin on vähäinen, sopii hyvin bioindikaattoriksi.

kapillaari-ilmiö,
capillary force 101
Nesteen pintajännityksestä

johtuva nesteen nousuvoima, joka ilmenee ohuissa putkissa. Vaikuttaa osaltaan veden nousuun kasvin juuresta ylöspäin.

kasvinsyöjä, *herbivore* 146
Eliö, joka saa ravintonsa kasveja tai niiden osia syömällä, 1. asteen kuluttaja.

kasvusolukko, *meristem* 36
Kasvien jakautumiskykyisistä soluista muodostunut solukkotyyppi. Sitä on kasvin kasvupisteissä, kuten verson ja juuren kärjissä.

kelpoisuus, *fittness* 63
Yksilön kyky säilyä elossa lisääntymisikään saakka ja tuottaa lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä. Kelpoisuutta voidaan mitata vertaamalla yksilön jälkeläisten määrää ja niiden hedelmällisyyttä populaation muihin yksilöihin.

kemiallinen evoluutio, *chemical evolution* 83
Alkumaapallon tapahtuma, jossa yksinkertaisista epäorgaanisista aineista syntyi vähitellen yhä monimutkaisempia orgaanisia yhdisteitä, jotka järjestäytyivät edelleen alkeellisiksi soluiksi.

kemosynteesi, *chemosynthesis* 85
Yhteyttäminen ilman valoa. Kemiallisten reaktioiden sarja, jolla eräät bakteerit sitovat energiaa orgaanisiin yhdisteisiinsä, energia on peräisin valon sijasta epäorgaanisten yhdisteiden hapettumisesta.

kestävä kehitys, *sustainable development* 169
Ympäristön resurssien hyödyntäminen siten, että tulevien ihmissukupolvien mahdollisuudet tyydyttää omat tarpeensa ovat yhtä hyvät kuin nykyisenkin sukupolven. Sisältää ekologisen, taloudellisen, sosiaalisen ja kulttuurisen ulottuvuuden.

keuhkot, *lungs* 102
Maaeläimillä veren ja ilman välisestä kaasujenvaihdosta huolehtiva elin.

kidukset, *gills* 94
Vesieläimillä veren ja veden välisestä kaasujenvaihdosta huolehtiva elin.

kilpailu, *competition* 143
Eliöiden tai lajien välinen suhde, jossa ne hyödyntävät samoja, rajallisia resursseja. Lajinsisäinen kilpailu rajoittaa populaation tiheyttä. Lajienvälinen kilpailu saattaa johtaa heikomman kilpailijan väistymiseen alueelta tai eriytymiseen esim. ravinnon hankinnassa (ekolokerossa).

kitiini, *chitin* 37
Kova orgaaninen yhdiste, jota on useiden eliöiden (mm. sienet) soluseinissä ja niveljalkaisten tukirakenteissa.

kliimaksi, *climax* 161
Ekologisen sukkession loppuvaihe, jossa eliöyhteisö ei enää juurikaan muutu.

kloonaus, *cloning* 60
Emoyksilön kaltaisten jälkeläisten tuottaminen suvuttoman lisääntymisen avulla.

klooni, *clone* 60
Samasta yksilöstä suvuttoman lisääntymisen avulla syntyneiden, perinnöllisesti samanlaisten jälkeläisten joukko.

klorofylli, *chlorophyll* 86
Lehtivihreä, vihreä yhteyttämisväriaine.

koevoluutio 109
Ks. rinnakkaisevoluutio.

kohtu, *uterus, womb* 105
Nisäkkäillä sikiön kehittymisympäristö. Kohdun seinämässä kiinni oleva istukka huolehtii aineiden kuljetuksesta naaraan ja sikiön välillä.

kommensalismi, *commensalism* 148
Ks. pöytävierassuhde.

koppisiemeniset, *angiosperms* 109
Siemenkasveja, joissa siemenaiheet ovat sikiäimen sisällä.

kotoperäinen, *endemic* 73
Laji, alalaji tai suku, jonka luonnollinen levinneisyys kattaa vain tietyn, suppeahkon alueen, esimerkiksi tunturisopuli Fennoskandiassa.

kromosomi, *chromosome* 59
Tumallisten solujen tumassa olevia värjäytyviä kappaleita, joissa geenit sijaitsevat. Kromosomit koostuvat DNA:sta ja proteiineista.

kudos, *tissue* 39
Monisoluisten eläinten samankaltaisten solujen muodostama toiminnallinen kokonaisuus, esimerkiksi lihaskudos. Kasveilla vastaava rakenne on solukko.

kukka, *flower* 108
Siemenkasvien lisääntymiselin, jonka heteissä syntyy siitepölyhiukkasia (vastaavat siittiösoluja) ja emeissä munasoluja.

kuluttaja, *consumer* 154
Ekosysteemissä muita eliöitä ravintonaan käyttävä eliö. Ravintoketjujen 1. porrasta (tuottajia) lukuun ottamatta kaikki muut portaat edustavat kuluttajia.

kunta, *kingdom* 32
Eliöiden luokittelun ylin taso. Eliöt jaetaan kuuteen kuntaan.

kuolevuus, *mortality rate, death rate* 138
Kuolleiden yksilöiden määrä suhteutettuna populaation kokoon aikayksikössä. Luku ilmaistaan ihmispopulaatioissa usein kuolleina tuhatta kohti eli promilleina.

kylmänhorros, *cold dormancy, chill coma* 133
Vaihtolämpöisten eläinten talvehtimistapa, jossa elintoiminnot hidastuvat voimakkaasti. Elimistön lämpötila voi laskea jopa 0 °C:n alapuolelle. (vrt. talvihorros)

käyminen, *fermentation* 86
Soluissa ilman happea (anaerobisesti) tapahtuva reaktio, jossa orgaanisen aineen sidosenergiaa vapautuu solun käyttöön.

käyttäytyminen, *behavior* 66
Eliöiden mitattavissa olevat reaktiot ympäristöönsä.

L

laaja-alainen, *eurytopic* 129
Eliö tai laji, joka selviää hyvin ympäristössään, vaikka ympäristötekijät vaihtelevat voimakkaastikin.

lahko, *order* 32
Eliöiden luokitteluyksikkö, joka on heimon ja luokan välissä.

laidunnus, *grazing* 146
Ravinnonottotapa, jossa kuluttaja käyttää vain osan ravintoeliöstä hyödykseen.

laji, *species* 31
Luokittelun perusyksikkö. Samaan lajiin kuuluvat yksilöt voivat lisääntyä keskenään ja niiden jälkeläiset ovat lisääntymiskykyisiä.

lajienvälinen kilpailu, *interspecific competition* 143
Kahden tai useamman lajin välinen suhde, jossa ne hyödyntävät samoja, rajallisia resursseja.
Ks. kilpailu.

lajimonimuotoisuus eli lajidiversiteetti, *diversity of species* 47
Eri lajien lukumäärä ja niiden runsaussuhteet tietyllä alueella.

lajinsisäinen kilpailu, *intraspecific competition* 139
Saman lajin yksilöiden välinen kilpailu samoista resursseista. Populaatioissa ilmenevän muuntelun vuoksi osa yksilöistä saa resursseja riittävästi ja osa jää ilman. Tämä säätelee mm. populaation tiheyden kasvua. Ks. kilpailu.

lajinsisäinen monimuotoisuus, *intraspecific diversity* 47
Samaan lajiin kuuluvien populaatioiden ja yksilöiden väliset erot. Ne johtuvat pääasiassa yksilöiden ominaisuuksiin vaikuttavista perintötekijöistä eli geneettisestä monimuotoisuudesta. Lisää lajin ja sen populaatioiden selviytymiskykyä ympäristömuutoksissa ja mahdollistaa pitkällä aikavälillä lajinkehityksen ja uusien lajien synnyn.

lajiutuminen, *speciation* 69
Uuden lajin kehittyminen evoluutiossa.

lehtivihreä, *chlorophyll* 86
Ks. klorofylli.

lepoitiö, *resting spore* 34
Paksuseinäinen itiö, joka kestää epäsuotuisia olosuhteita kuten kylmyyttä. Esiintyy mm. bakteereilla.

levät, *algae* 35
Yhteyttämiskykyisiä eliöitä, jotka kuuluvat alkueliöihin, esimerkiksi viherlevät.

lihaskudos, *muscle tissue* 39
Eläinten kudostyyppi, osallistuu liikkeiden syntymisen.

limasienet, *slime moulds* 35
Alkueliöihin kuuluvia toisenvaraisia eliöitä.

logistinen kasvu, *logistic growth* 139
Populaation rajallinen kasvu, jossa kasvua rajoittaa kantokyvystä riippuva ympäristön vastus.

loinen, *parasite* 148
Eliö, joka ottaa isäntäeliöstä (*host*) ravintoa tappamatta tätä.

luokka, *class* 32
Eliöiden luokitteluyksikkö, johon kuuluu yksi tai useampia lahkoja. Luokan yläpuolella on eläimillä pääjakso ja kasveilla kaari.

luonnonvalinta, *natural selection* 63
Ks. valinta.

M

maahengitys, *soil respiration* 156
Hajottajien ja muiden maassa elävien eliöiden toiminta vapauttaa hiilidioksidia maaperästä ilmaan.

maailmankaudet, *eras* 110
Maapallon geologinen ikä jaetaan maailmankausiin.

makroevoluutio, *macroevolution* 70
Uusien lajien syntyyn johtavaa evoluutiota, joka perustuu populaatioiden perinnölliseen erilaistumiseen ja populaatioiden välisiin risteytymisesteisiin.

metsänraja, *timberline* 132
Raja-alue, jossa yhtenäinen metsäalue loppuu napa-alueilla ja vuoristossa.

mikrobiologia, *microbiology* 18
Biologian osa-alue, jossa tutkimuskohteena ovat mikroskooppisen pienet eliöt, kuten bakteerit, virukset tai alkueläimet.

mikroevoluutio, *microevolution* 69
Samaan lajiin kuuluvien toisistaan poikkeavien populaatioiden kehittyminen. Mikroevoluutio perustuu muutoksiin populaation geenistössä.

minimitekijä, *minimum factor, limiting factor* 129
Niukkuustekijä, ympäristötekijä, joka ensimmäisenä ylittää eliön sietokyvyn ja siten rajoittaa voimakkaasti eliön esiintymistä.

mitokondrio, *mitochondrion* 87
Soluelin, jossa soluhengitys (eli energiaa vapauttavat reaktiot) tapahtuu.

molekyylibiologia, *molecular biology* 20
Biologian osa-alue, jossa tutkitaan solujen rakennetta ja toimintaa molekyylitasolla.

molekyylikello, *molecular clock* 118
Makromolekyylien väliset erot eri eliöiden kehityslinjoissa kertovat, milloin ne ovat eriytyneet toisistaan. Tämä perustuu siihen, että molekyylitasolla evoluution kehitysvauhti on vakio.

monimuotoisuus, *diversity* 47
Ks. biodiversiteetti.

muna, *egg* 103
Sisältää hedelmöittyneen munasolun, vararavintoa ja kehittyvää alkiota suojaavia osia. Matelijoilla ja linnuilla.

muodonvaihdos, *metamorphosis* 93
Yksilön kehittyminen muna- ja toukkavaiheen kautta aikuiseksi yksilöksi. Joskus muodonvaihdokseen kuuluu myös kotelovaihe, esimerkiksi hyönteisillä ja sammakkoeläimillä.

muovautumismuuntelu, *phenotypic plasticity* 55
Ympäristötekijöiden aiheuttama jälkeläisten keskinäinen erilaisuus.

mutaatio, *mutation* 56
Geeneissä, kromosomeissa tai kromosomistoissa tapahtuva perinnöllinen muutos.

mutualismi, *mutualism* 148
Vuorovaikutussuhde, jossa molemmat yhdessä elävät lajit hyötyvät. Synonyymina käytetään joskus symbioosikäsitettä.

muuntelu, *variation* 54
Saman lajin yksilöiden, populaatioiden tai alalajien välinen vaihtelu yhden tai useamman ominaisuuden suhteen.

N

nettoperustuotanto, *net primary production* 157
Ekosysteemin kaikkien tuottajien yhteinen tuotanto, josta on vähennetty tuottajien oman kulutuksen (hengityksen) osuus.

nettotuotanto, *net production* 157
Tuottajien tai kuluttajien tuotanto, josta eliön oman hengityksen osuus on vähennetty.

nilaosa, *phloem* 101
Putkilokasvien johtojänteen osa, jota pitkin yhteyttämistuotteet kuljetetaan kasvin eri osiin.

nukleiinihappo, *nucleic acid* 83
Tuman ja solun informaatiota sisältävä orgaaninen molekyyli.

O

ohivirtaus, *energy outflow, respiratory heat loss* 158
Ks. energian ohivirtaus.

omavarainen, *autotrophic* 154
Eliö, joka kemo- tai fotosynteesin avulla pystyy sitomaan itseensä tarvitsemansa energian ja tuottamaan tarvitsemansa orgaaniset yhdisteet.

ominaisuusyhdistelmät, *character recombination* 58
Suvullisen lisääntymisen

tuottamat uudet ominaisuusyhdistelmät jälkeläistössä. Aiheutuu uusista erilaisista perintötekijöiden yhdistelmistä.

optimi, *optimum* 128
Edullisin ympäristö eliön lisääntymiselle, kasvulle ja kehitykselle. Sietoisuusalueen kohta, jossa kemiallisen tai fysikaalisen tekijän määrä on eliön kannalta sopivin.

orgaaninen, *organic* 83
Eloperäinen, elollisesta luonnosta peräisin oleva.

osapopulaatio, *subpopulation* 71
Populaation osa, joka vähitellen eriytyy muusta populaatiosta.

otos, *sample* 137
Ekologisessa tutkimuksessa käytetty menettely, jossa satunnaisesti tai systemaattisesti poimittu osa populaatiosta tai alueesta tutkitaan, ja sen perusteella tehdään koko populaatiota tai aluetta koskevia päätelmiä.

P

paleontologia, *paleontology* 114
Muinaisten aikojen elämää tutkiva tiede, jossa tieto perustuu etenkin fossiililöytöihin.

paljassiemeniset, *gymnosperms* 104
Siemenkasvit, joiden siemenaiheet ovat paljaana emilehden pinnalla, esimerkiksi havupuut.

parasitismi, *parasitism* 148
Loissuhde, kahden eliön tai lajin vuorovaikutussuhde, jossa toinen (loinen) hyötyy toisen (isännän) kustannuksella tappamatta tätä.

partenogeneesi, *parthenogenesis* 61
Alkionkehityksen käynnistyminen naaraspuolisesta sukusolusta ilman koiraspuolisen sukusolun vaikutusta (ns. neitseellinen synty).

perimä, *genome* 55
Yksilön kaikkien geenien muodostama kokonaisuus.

perinnöllinen muuntelu 47
Ks. geneettinen muuntelu.

perinnöllisyystiede, *genetic* 20
Ks. genetiikka.

perintötekijä, *genes* 59
Ks. geeni.

perustajanvaikutus, *founder effect* 75
Muutamasta kantapopulaation yksilöstä syntynyt uusi populaatio, jonka perintötekijäyhdistelmät poikkeavat sattuman takia kantapopulaation perintötekijäyhdistelmistä.

perustuotanto, *primary production* 157
Primaarituotanto, tuottajien sitoma energia tai biomassa.

peto, *predator* 146
Saalistaja, eläin, joka elää tappamalla toisia eläimiä ravinnokseen.

pintasolukko, *dermal tissue* 36
Yksi kasvia verhoavista solukkotyypeistä. Muodostaa esimerkiksi lehtien ulkopinnan.

pioneerilaji, *pioneer species* 160
Eliölaji, joka ensimmäisten joukossa asuttaa tyhjän alueen aloittaen sukkessiokehityksen. Käsitettä voidaan laajentaa koskemaan myös eliöyhteisöjä, jolloin puhutaan pioneeriyhteisöistä.

populaatio, *population* 54
Samanaikaisesti tietyllä alueella elävät saman lajin yksilöt, joiden on mahdollista lisääntyä keskenään.

primaarituotanto, *primary production* 157
Ks. perustuotanto.

proteiini, valkuaisaine, *protein* 10
Solujen elintoiminnoille välttämätön typpeä sisältävä molekyyli, joka on rakentunut aminohapoista.

pullonkaulailmiö, *bottleneck effect* 75
Geneettiseen ajautumiseen liittyvä ilmiö, jossa populaatio kutistuu tilapäisesti muutamaan yksilöön ja uudelleen kasvaessaan muodostuu geenistöltään erilaiseksi kuin alkuperäinen populaatio.

putkilokasvi, *vascular plant* 36
Kasvi, jonka rakenteessa on johtosolukko. Putkilokasveihin kuuluvat sanikkaiset ja siemenkasvit.

puuosa, *xylem* 101
Putkilokasvien johtojänteen osa, joka koostuu pitkistä kuolleista soluista. Puuosaa pitkin kulkevat vesi ja siihen liuenneet ravinteet juuresta kasvin muihin osiin.

puuraja, *tree line* 132
Harvojen puuyksilöiden muodostama raja puuttomaan alueeseen nähden esimerkiksi napa-alueilla ja vuoristoissa.

pääjakso, *phylum* 32
Eläinten korkein luokitteluyksikkö, esimerkiksi niveljalkaiset. Pääjaksot muodostavat yhdessä eläinkunnan.

pölytys, *pollination* 61
Siemenkasvien siitepölyn kulkeutuminen tuulen (tuulipölytys) tai hyönteisten (hyönteispölytys) kuljettamana hedekukista emikukkaan.

pöytävierassuhde, *commensalism* 148
Pöytätoveruus, pöytäkumppanuus. Kahden lajin välinen suhde, joka on pöytävieraalle (commensal) hyödyllinen tai elinehto ja toisaalta isännälle (host) merkityksetön.

R

ravinteet, *nutrients* 126
Kasvien tarvitsemat epäorgaaniset aineet, joita ne ottavat maasta veteen liuenneina.

ravintoketju, *food chain* 154
Ekologinen suhde, joka yhdistää kasveja, niitä syöviä kasvinsyöjäeläimiä ja niitä edelleen syöviä petoja sekä kaikkien edellä mainittujen eliöiden hajottajia. Ravintoketjulla kuvataan aineen ja energian siirtymistä tuottajilta kuluttajille ja hajottajille.

ravintospesialisti, *monophage* 146
Eläin, joka käyttää vain yhdenlaista ravintoa.

ravintoverkko, *food web* 154
Ekosysteemin toistensa kanssa risteävien ravintoketjujen muodostama kokonaisuus.

regeneraatiokyky, *regeneration* 60
Eliön uusiutumiskyky, jolloin jo erikoistuneesta ruumiinosasta kasvaa uusi osa tuhoutuneen tilalle.

rekombinaatio, *recombination* 58
Ks. ominaisuusyhdistelmät.

resurssi, *resource* 128
Ympäristötekijä, jota eliöt hyödyntävät, kuten valo, tila, ravinto jne.

resurssikilpailu, *resource competition* 143
Lajinsisäinen tai lajien-

välinen kilpailu ympäristön rajallisista resursseista.

reviiri, *territory* 142
Eläimen tai lauman elinpiiri tai pesimäalue, jota se puolustaa muita saman lajin yksilöitä tai laumoja vastaan.

rinnakkaisevoluutio, *co-evolution* 109
Kahden tai useamman lajin, esim. pedon ja saaliin, toisistaan riippuvainen evoluutio.

ristipölytys, *cross-pollination* 61
Kukan pölyttyminen toisen kasviyksilön kukasta peräisin olevalla siitepölyllä.

S

saalistus, *predation* 146
Kahden lajin välinen suhde, jossa saalistaja käyttää toisen lajin eläviä yksilöitä ravintonaan.

samansyntyinen (homologinen) rakenne, *homologous structure* 41
Sellainen rakenne, jonka toiminta tai tehtävä on erilainen, mutta joka on kehittynyt samasta perusrakenteesta. Esimerkiksi linnun siipi ja valaan evä.

samantoiminen (analoginen) rakenne, *analogous structure* 41
Sellainen rakenne, jolla on sama tehtävä mutta evolutiivisesti erilainen alkuperä. Esimerkiksi linnun ja perhosen siipi.

sattuma, *chance* 74
Ks. geneettinen ajautuminen.

satunnaisajautuminen, *genetic drift* 74
Ks. geneettinen ajautuminen.

sekovarsi, *thallus* 100
Tyypillinen monisoluisille leville ja sammalille, ei voida erottaa erillisiä kasvin osia, kuten juurta, vartta tai lehtiä.

sekundaarituotanto, *secondary production* 157
Ks. jatkotuotanto.

selkärangattomat, *invertebrates* 94
Yhteisnimitys niille eläimille, joilla ei ole sisäistä tukirankaa, esimerkiksi hyönteiset ja nivelmadot.

selkärankaiset, *vertebrates* 94
Selkäjänteellisten alajakso, johon kuuluvilla eläimillä on luusta muodostunut pääkallo ja nikamien muodostama selkäranka. Selkärankaisiin kuuluvat kalat, sammakkoeläimet, matelijat, linnut ja nisäkkäät.

siemen, *seed* 103
Siemenkasveilla hedelmöittyneestä munasolusta kehittynyt rakenne, johon kuuluvat alkio, vararavinto alkion kasvua varten ja niitä ympäröivä siemenkuori.

siemenkasvit, *seed plants* 103
Kasveja, jotka lisääntyvät siementen avulla. Siemenkasveihin kuuluvat paljassiemeniset ja koppisiemeniset.

sienet, *fungi* 37
Yksi eliökunnan kuudesta kunnasta, toisenvaraisia, yksi- tai monisoluisia, soluseinä koostuu kitiinistä.

sienijuuri, *mycorrhiza* 148
Mykoritsa, kasvin juuriston ja sienirihmaston muodostama hyvin kiinteä symbioosi, jonka kautta kasvi ja sieni elävät mutualistisessa, molempia hyödyttävässä vuorovaikutussuhteessa.

sietoisuus, *tolerance* 129
Eliön kyky kestää ympäristötekijöiden vaihtelua.

silmikointi, *budding* 60
Lisääntymistapa, jossa emoyksilön pintaan kehittyy silmuja, jotka kehittyvät uusiksi yksilöiksi ja irtoavat tai jäävät kiinni emoyksilöön. Tavataan mm. hiivoilla, kasveilla ja polttiaiseläimillä.

sinilevä, *cyanobacteria* 34
Ks. syanobakteeri.

sisäinen hedelmöitys, *internal fertilization* 103
Siittiö- ja munasolun yhdistyminen tapahtuu naaraan sukupuolielimistössä. On esimerkiksi linnuilla ja nisäkkäillä.

sisäsiitos, *inbreeding* 166
Ks. sukusiitos.

soidin, *courtship* 61
Usein eläinten pariutumista edeltävät soidinmenot, joiden tarkoituksena on varmistaa samaan lajiin kuuluminen ja lisääntymiskumppanin sopivuus.

soluelin, *organelle* 10
Solun rakenneosa, joka on erikoistunut hoitamaan tiettyä tehtävää solussa. Esimerkiksi viherhiukkanen.

soluhengitys, *cell respiration* 86
Reaktiosarja, jossa orgaanisten aineiden kemiallisissa sidoksissa oleva energia vapautuu hapen läsnä ollessa solun käyttöön.

solukko, *tissue* 10
Monisoluisten kasvien samankaltaisten solujen muodostama toiminnallinen kokonaisuus. Eläimillä vastaava rakenne on kudos.

soluseinä, *cell wall* 36
Esitumallisten sekä useimpien kasvi- ja sienisolujen uloin kerros solukalvon ulkopuolella. Kasveilla se koostuu pääasiassa selluloosasta ja sienillä kitiinistä.

sopeutuminen, *adaptation* 76
Evoluution myötä tapahtuvaa erilaisiin ympäristöoloihin mukautumista. Sopeutumiskyvyn ansiosta eliöt selviytyvät erilaisissa ja muuttuvissa ympäristöissä.

sopeutumislevittäytyminen, *adaptive radiation* 76
Samaa alkuperää olevan eliöryhmän evolutiivinen erilaistuminen ja sopeutuminen useisiin ekologisiin lokeroihin, joka johtaa suhteellisen lyhyessä ajassa useiden uusien ryhmien ja lajien syntyyn.

sukkessio, suksessio, *succession* 159
Alueen eliöyhteisön, lähinnä kasvillisuuden, lajikoostumuksen vähittäinen, luonnonvarainen ja ajallinen muuttuminen.

suku, *genus* 32
Eliökunnan luokittelussa käytetty yksikkö, joka osoittaa samaan sukuun kuuluvat lajit.

sukupolvenvuorottelu, *alternation of generations* 61
Alkeellisilla eläimillä ja useilla kasveilla tavattava suvuttomasti ja suvullisesti lisääntyvän vaiheen vuorottelu.

sukupuolijakauma, *sex ratio* 138
Populaation sukupuolten yksilömäärien suhde (yleensä koiraiden määrä / naaraiden määrä).

sukupuutto, *extinction* 104
Lajin, suvun tms. häviäminen viimeisen yksilön kuollessa.

sukusiitos, sisäsiitos, *inbreeding* 166
Keskenään läheistä sukua olevien yksilöiden välinen lisääntyminen. Se katsotaan sukusiitokseksi, jos lisääntyvät yksilöt ovat läheisempää sukua kuin populaatiosta sattumanvaraisesti poimitut yksilöt.

surkastuma, *rudiment* 119
Eliön evoluution aikana merkityksensä menettänyt

elin tai ruumiinosa. Esimerkiksi ihmisen häntäluu.

suuntaava valinta, *directional selection* 64
Etenkin muuttuvassa ympäristössä ilmenevä luonnonvalinnan muoto, jossa valinta suosii tietyn ominaisuuden jompaakumpaa ääripäätä ilmentäviä populaation yksilöitä. Ks. valinta.

suvullinen lisääntyminen, *sexual reproduction* 57
Suvullinen lisääntyminen tapahtuu sukusolujen eli siittiöiden (kasveilla siitepölyhiukkasten) ja munasolujen avulla.

suvuton lisääntyminen, *asexual reproduction* 55
Kasvullinen lisääntyminen eli ilman sukusoluja tapahtuva lisääntyminen. Tavallista monilla kasveilla rönsyjen, maavarren tai pistokkaiden avulla.

syanobakteeri, *cyanobacteria* 34
Bakteereihin kuuluva eliöryhmä. Syanobakteerit ovat omavaraisia ja pystyvät fotosynteesiin. Aikaisemmin on käytetty yleisesti nimitystä sinilevä.

symbioosi, *symbiosis* 148
Kahden tai useamman eliölajin yhdyselämä tai kiinteä vuorovaikutussuhde. Usein symbioosiksi sanotaan kuitenkin vuorovaikutusta, josta osapuolet hyötyvät, vrt. mutualismi.

syntyvyys, *birth rate, natality* 138
Syntyneiden jälkeläisten määrä suhteutettuna populaation kokoon tietyssä ajassa. Ilmaistaan ihmispopulaatioissa usein syntyneinä tuhatta kohti (promilleina).

syrjäyttävän kilpailun periaate, *competitive exclusion principle* 144
Samassa ekolokerossa ei voi elää kahta lajia, vaan kilpailukykyisempi syrjäyttää heikomman.

säteittäissymmetrinen, *radial symmetric* 90
Eläin tai kasvi, joka voidaan jakaa erisuuntaisilla tasoilla kahteen samanlaiseen osaan. Esimerkiksi meduusa.

T

taksonomia, *taxonomy* 32
Biologian ala, joka keskittyy eliöiden tieteelliseen kuvaukseen, nimeämiseen ja luokitteluun.

talveentuminen, talveutuminen, *cold hardening, frost hardening* 132
Syksyn lähestyessä eliöissä ilmenevä tapahtumasarja, joka valmistaa niitä kestämään alentuvia lämpötiloja.

talvihorros, *hibernation* 133
Joidenkin tasalämpöisten eläinten (mm. siilin, lepakoiden) talvehtimistapa, jossa elimistön lämpötila laskee jopa lähelle 0 °C. (vrt. kylmänhorros)

talviuni, *winter sleep* 133
Joidenkin tasalämpöisten eläinten (esim. karhun) talvehtimistapa, jossa eläin nukkuu syvää unta talven yli. Kudosten aineenvaihdunta hidastuu, mutta elimistön lämpötila laskee vain muutamia asteita.

tasalämpöisyys, *homoiothermy, homeothermy* 105
Eläinten (lintujen, nisäkkäiden) kyky ylläpitää ruumiinlämpöä tietyllä tasolla. Perustuu hermoston ja hormonien avulla tapahtuvaan lämmönsäätelyyn.

tasapainottava valinta, *balancing selection* 64
Etenkin vakaassa ympäristössä ilmenevä luonnonvalinnan muoto, jossa valinta suosii tietyn ominaisuuden keskiarvoa ilmentäviä populaation yksilöitä. Ks. valinta.

teollisuusmelanismi, *industrial melanism* 65
Tummien yksilöiden yleistyminen eläinpopulaatioissa alueilla, joissa tavataan teollisuuden aiheuttamia ympäristömuutoksia (lähinnä ilmaan joutuvia rikki- ja nokipäästöjä).

tiheys, *density* 137
Eliöiden yksilömäärä pinta-ala- tai tilavuusyksikköä kohti.

toisenvarainen, *heterotrophic* 154
Eliö, joka käyttää hyväkseen tuottajien sitomaa energiaa ja biomassaa. Kaikki kuluttajat ja hajottajat ovat toisenvaraisia.

toleranssi, *tolerance* 129
Ks. sietoisuus.

trofiataso, *trophic level* 159
Ravintoketjun tai -pyramidin taso, joka määräytyy ravinnonsaannin perusteella: 1. tason muodostavat ekosysteemin tuottajat, 2. tason kasvinsyöjät, 3. tason kasvinsyöjiä syövät pedot jne.

tukikudos, *connective tissue* 39
Eläinten kudostyyppi. Voidaan jakaa side-, rusto- ja luukudokseen.

tukisolukko, *supporting tissue* 36
Kasvien solukkotyyppi, joka koostuu paksuseinäisistä soluista. Sen tehtävänä on kasvin tukeminen.

tulokaslaji, *alien species* 165
Laji, joka ei ole alueella alkuperäinen vaan ihmisen joko tahallisesti tai tahattomasti siirtämä.

tuma, *nucleus* 33
Tumallisten eliöiden soluelin, jossa perintöaines sijaitsee. Tumaa ympäröi tumakotelo.

tumakotelo, *nuclear envelope* 33
Tuman ympärillä oleva kalvorakenne.

tumallinen, *eucaryotic* 31
Solu, jossa on tumakotelon ympäröimä tuma. Tumallisia eliöitä ovat alkueliöt, kasvit, sienet ja eläimet.

tuotantopyramidi, *production pyramid* 158
Ks. ekologinen pyramidi.

tuottaja, *producer* 154
Eliö (kasvi, levä, bakteeri), joka yhteyttämällä muodostaa elollista biomassaa elottomista aineista.
Vrt. omavarainen.

U

ulkoinen hedelmöitys, *external fertilization* 102
Siittiö- ja munasolun yhdistyminen tapahtuu naaraan sukupuolielimistön ulkopuolella, tavallisesti vedessä. On esimerkiksi kaloilla ja sammakkoeläimillä.

V

vaellus, *invasion* 141
Eliöiden siirtyminen esimerkiksi ravinnon puutteen takia uudelle alueelle, mikä voi johtaa lajin levinneisyysalueen laajenemiseen.

vaihtolämpöisyys, *poikilothermy* 133
Eläinten ruumiinlämmön vaihteleminen ympäristön lämpötilan mukaan.
Lähes kaikki eläimet ovat vaihtolämpöisiä (poikkeuksina vain linnut ja nisäkkäät).

valinta, luonnonvalinta *(natural) selection* 63
Valinta vaikuttaa populaatiossa perintötekijöiden lukusuhteisiin suosimalla kelpoisuudeltaan parhaita yksilöitä ja johtaa niiden

perintötekijöiden yleistymiseen. Evoluutiota ohjaava luonnonvalinta voi olla tasapainottavaa, suuntaavaa tai hajottavaa.

verenkierto, *circulation* 92
Sen tehtävänä on aineiden kuljetus eläimen eri ruumiinosien ja elinten välillä. Se voi olla avoin, eli kulkee osan ajasta verisuoniston ulkopuolella tai suljettu eli veri kulkee koko ajan suonistossa.

viherhiukkanen, *chloroplast* 87
Kloroplasti, soluelin, jossa fotosynteesi eli yhteyttäminen tapahtuu.

virus, *virus* 40
Perintöainesta sisältävä pieni kappale, joka tarvitsee toimiakseen elävän solun.

välimuotofossiili, *intermediate fossil* 117
Kahden eri eläinryhmän piirteitä sisältävä fossiili. Esimerkiksi varsieväkala.

Y

yksineuvoinen eliö, *unisexual organism* 91
Eläin, joka tuottaa joko koiras- tai naaraspuolisia sukusoluja tai sellainen kasvi, jonka kukissa on joko hede- tai emikukkia. Esimerkiksi kaikki nisäkkäät ovat yksineuvoisia.

ympäristön kantokyky, *carrying capacity* 137
Ympäristöresurssien säätelemä suurin populaatiokoon taso tietyllä alueella tai tietyssä ympäristössä. Populaation kasvu voi ylittää kantokyvyn määräämän rajan vain tilapäisesti.

ympäristön vastus, *environmental resistance* 139
Yhteisnimitys populaation kasvua hillitseville tekijöille.

ympäristöresurssi, *resource* 128
Ks. resurssi.

Valokuvien oikeudet

Kannen kuvat: WSOY ja Matton images /Royalty free

Biohistory Research Hall/Ritsuko Hashimoto & Keiko Nakamura: s. 52–53

Leif Blomqvist: s. 166 ylh. vas.

Colourbox: s. 152 vas.
Corbis/Royalty free: s. 119

Diabox/Hannu Vallas: s. 47 alh. vas., Diabox/Matti Valta: s. 91 alh., Diabox/Pekka Westerling: s. 94, Diabox/Hannu Hautala: s. 100

European Comission/Central Audiovisual Library: s. 19 vas. alh.

Mikko Heikkinen: s. 125

Heikki Henttonen: s. 137 alh.

Eira Ihalainen: s. 25 ylh.

Anita Kokkila: s. 11 kesk. oik., s. 50, s. 57 ylh., s. 155, s. 161 kesk. oik.

Jyrki Korhonen: s. 43

Kuvaario/Hannu Hautala: s. 7 ylh. oik., Kuvaario/Fred Björksten: s. 48 alh., Kuvaario/Benjam Pöntinen: s. 73 ylh., Kuvaario/Mauri Rautkari: s. 166 alh.

Kuvakori/Tero Sivula: s. 127 ylh.

Kuvaliiteri/Asko Hämäläinen: s. 74 ylh. oik., Kuvaliiteri/Asko Kaikusalo: s. 80 ylh. oik., Kuvaliiteri/E. J. Laamanen: s. 123 ylh. vas., Kuvaliiteri/Hannu Eskonen: s. 152 kesk. vas., Kuvaliiteri/Arto Rummukainen: s. 160 alh. oik., Kuvaliiteri/Reijo Juurinen: s. 161 ylh. oik.

Lehtikuva/Marja Airio: s. 24 alh., LK/Juha Taskinen: s. 71 kesk. oik., LK/Claes Grundsten: s. 74 alh. vas., LK/Phototake/Ken Wagner: s. 115 alin

Leuku/Jorma Luhta: s. 48 kesk., s. 61 alh. oik., Leuku/Markus Varesvuo: s. 128 alh., Leuku/Veikko Vasama: s. 141 alh. oik., Leuku/Eero Kemilä: s. 149 alh.

Leena Lindström: s. 25 kesk. oik.

Luonnonkuva-arkisto/Kari Niemeläinen: s. 12 kesk., LKA/Reijo Juurinen: s. 58, LKA/Seppo Laakso: s. 65, LKA/Matti Ylätupa: s. 66 kesk. oik., LKA/Juha Taskinen: s. 71 alh. oik., s. 136, LKA/Aarni Nummila: s. 71 alh. vas., LKA/Pekka Eriksson: s. 116 alh. vas., LKA/Jouko Kuosmanen: s. 124, LKA/Kari Auvinen: s. 127 alh., LKA/Asko Hämäläinen: s. 128 ylh., LKA/Martti Roininen: s. 140 ylin., LKA/Heikki Willamo: s. 141 alh. vas., s. 146 kesk., LKA/Tuomo Hurme: s. 146 ylh., LKA/Mikko Pöllänen: s. 146 alh., LKA/Hannu Hautala: s. 147, LKA/Matti Moisio: s. 149 ylh., s. 154 kesk., LKA/Benjamin Pöntinen: s. 167

Marcel Maltzeff: s. 122–123 taustakuva, s. 123 kesk. oik.

Johanna Mappes: s. 25 alh., s. 26

Tuomo Niemelä: s. 38 alh. oik.

Pauli Nieminen: s. 72 ylh., s. 93 alh., s.150 alh. oik.

Plugi/Royalty free: s. 28, s. 47 kesk. oik., s. 154 ylh. kesk. ja oik. ja kesk. oik., s. 160 alh. vas., s. 161 alh. kesk.

Mauri Rautkari: s. 11 ylh., s. 123 kesk. vas.

Panu Sotkas: s. 10 vas. alh., s. 64 alh. oik.

Suomen Kuvapalvelu/Corbis/Brandon D.Cole: s. 6 alh. vas. ja s. 11 alh. kesk., SK/Corbis/Tom Brakefield: s. 14 ylh., s. 70, s. 140 alh., SK/Corbis/Ralph White: s. 16 kesk. oik., SK/Corbis/Raymond Gehman: s. 19 ylh., SK/Corbis/Galen Rowel: s. 19 alh. oik., SK/Corbis/Jeffrey L. Rotman: s. 31, SK/Corbis/Theo Allofs: s. 40 alh. oik., SK/Corbis/Michael Maconachie: s. 63, SK/Corbis/A. & C. Purcell: s. 64 vas., SK/Corbis/Nigel Dennis: s. 73 kesk., SK/Corbis/Bettmann: s. 79 alh., SK/Corbis: s. 80 kesk. oik., SK/Corbis/Ralph White: s. 85, SK/Corbis/Stephen Frink: s. 90, SK/Corbis/Kevin Schafer: s. 106 alh. oik., SK/Corbis/M. & P. Fogden: s. 108 ylh. vas. ja oik., SK/Corbis/Hoskins: s. 116 ylh. vas., SK/Corbis/Karen Hunt: s. 118 alh., SK/Corbis/Bob Krist: s. 159, SK/Corbis/Joe McDonald: s. 166 ylh. oik., SK/Corbis/Stephanie Maze: s. 168 alh., SK/Corbis/Micheline Pelletier: s. 169, SK/Corbis/Oliver Strewe: s. 170

Suomen Kuvapalvelu/Minden Pictures/Florian Graner: s. 41 kesk. vas., SK/Minden Pictures/Kim Taylor: s. 41 kesk. oik., SK/Minden Pictures/D. Parer & E. Parer-Cook/Auscape: s. 78, SK/Minden Pictures/Michael Durham: s. 80 kesk. oik., SK/Minden Pictures/Bristol City Museum: s. 80 alh.vas., SK/Minden Pictures/Konrad Wothe s. 92 ylh., SK/Minden Pictures/Flip Nicklin: s. 93 kesk. oik., SK/Minden Pictures/Frans Lanting: s. 114, SK/SPL/Michael Quinton: s. 132, SK/Minden Pictures/Claus Meyer: s. 168 ylh.

Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/A.B.Dowsett: s. 9 alin., SK/SPL/Jeremy Burgess: s. 10 ylh. kesk., SK/SPL/Eye of Science: s. 10 alh.vas., s. 19 kesk. vas., s. 34 kesk. oik., s. 35 alh. vas., s. 39 ylh. vas. ja oik. ja alh. vas., SK/SPL/John Durham: s. 10 kesk. oik., SK/SPL/Andrew Syred: s. 13, s. 29 kesk., s. 88 ylh., SK/SPL/Tony Craddock: s. 20, SK/SPL/A. Barrington Brown: s. 22 vas., SK/SPL/George Bernard: s. 23 alh.vas., SK/SPL/Morley Read: s. 23 alh. oik., SK/SPL/Jim Varney: s. 27, SK/SPL/Alexis Rosenfeld: s. 29 alh., SK/SPL/Dr. Gary Gaugler: s. 34 alh. oik., SK/SPL/Astrid & Hans Frieder Michler: s. 35 kesk. vas., SK/SPL/Professors P.M. Motta, P.M. Andrews, K.R. Porter & J. Vial: s. 39 alh. oik., s. 118 kesk. oik., SK/SPL/Dr. Steve Patterson: s. 40 ylh. oik., SK/SPL/William Erwin: s. 40 alh. vas., SK/SPL/Alfred Pasieka: s. 86 alh. oik., s. 115 ylin, SK/SPL/Georgette Douwma: s. 86 alh. vas., SK/SPL/Manfred Kage: s. 88 alh., SK/SPL/Steve Geschmeissner: s. 96 alh. kesk., SK/SPL/London School of Hygiene & Tropical Medicine: s. 96 alh. oik., SK/SPL/ Philippe Psaila: s. 99, SK/SPL/Peter Scoones: s. 116 alh. oik., SK/SPL/David Spears: s. 118 ylh. oik., SK/SPL/ David Scharf: s. 154 kesk. vas., SK/SPL/Peter Moore: s. 165 alh.

Suomen Kuvapalvelu/Zefa/F. Lemmens: s. 7 vas. alh.

Marja Tihtarinen-Ulmanen: s. 8, s. 38

Juha Venäläinen: s. 75

WSOY: s. 6 taustakuva, s. 6 ylh., s. 7 ylh. vas. ja alh. oik., s. 9 kesk. ja oik., s. 10 ylh. vas. ja oik. alh., s. 11 kesk. ja alh. vas., s. 12 alh., s. 14 alh., s. 15, s. 16 ylh. ja kesk. vas., s. 17, s. 21, s. 22 alh. oik., s. 24 ylh, s. 29 ylh., s. 32, s. 34 alh. vas., s. 35 ylh. kesk., alh. kesk. ja alh. oik., s. 37, s. 39 alh. kesk., s. 46, s. 48 vas., ja ylh., s. 49, s. 52–53 taustakuva, s. 54, s. 56, s. 57 alh., s. 60 ylh. ja kesk., s. 61 ylh. ja vas. alh., s. 66 alh., s. 69, s. 72 kesk. ja alh., s. 73 alh., s. 77, s. 79 ylh., s. 82, s. 91 kesk. oik., s. 92 alh., s. 95, s. 96 alh. vas., s. 97, s. 102, s. 103, s. 105, s. 106 alh. vas., s. 107, s. 108 ylh. kesk., s. 110, s. 115 taustakuva, s. 122 ylh. ja alh., s. 123 ylh. oik., s. 129 vas. alh., s. 131 alh. vas., s. 134 alin vas. ja oik., s. 138, s. 140 kesk., s. 143, s. 144, s. 145 vas., s. 149 kesk., s. 153, s. 158 alh. oik., s. 163, s. 164, s. 165 ylh.

WSOY Oppimateriaalit Oy/Kari Hirvo: s. 41 ylh. vas. ja oik., s. 47 alh. oik., s. 67, s. 112, s. 134 alh. vas., s. 154 ylh. vas.

WSOY Oppimateriaalit Oy/Anita Kokkila: s. 10 alh. kesk. ja oik., s. 13 ylh., s. 36, s. 38 kesk. vas. ja alh. vas., s. 55, s. 60 alh., s. 115 kesk., s. 122 kesk. vas., s. 129 ylh. oik. ja alh. oik., s. 145 oik., s. 148 kesk., s. 158 alh. vas.

WSOY Oppimateriaalit Oy/Marcel Maltzeff: s. 38 ylh. oik.

Piirroskuvien oikeudet

Pekka Könönen: s. 22, s. 26, s. 30, s. 32, s. 33 ylh., s. 45, s. 65, s. 71, s. 72, s. 75, s. 76, s. 81, s. 83, s. 84 ylh., s. 85, s. 89, s. 90, s. 91 ylh., s. 92 ylh., s. 93 ylh., s. 95 ylh., s. 98, s. 100 vas. ja ylh., s. 101, s. 102, s. 103, s. 104 alh., s. 107 ylh., s. 109 ylh., s. 110, s. 111, s. 113, s. 119, s. 120, s. 128, s. 138, s. 139, s. 141, s. 144 oik., s. 145, s. 146, s. 147, s. 151, s. 152, s. 155, s. 156, s. 157, s. 158, s. 160, s. 164

Kauko Kyöstiö: s. 13, s. 131, s. 132

Thomas Lindroos: s. 42, s. 150, s. 165

Tarja Petrell: s. 7

Maia Raitanen: s. 12, s. 33 alh., s. 37, s. 38, s. 41, s. 59, s. 70, s. 79, s. 84 alh., s. 87, s. 91 alh., s. 92 alh., s. 93 alh., s. 95 alh., s. 100 oik., s. 104 ylh., s. 106, s. 107 alh., s. 109 alh., s. 117, s. 125, s. 126, s. 130, s. 133, s. 135, s. 137, s. 144 vas., s. 162 oik.